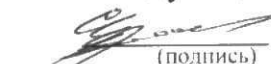


Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ
(институт)

ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.В. Кузьмин
(подпись) (инициалы, фамилия)

«09» февреля 2018г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.10 Электрификация и автоматизация горного производства

(код и наименование специализации)

Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Оценка воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 110кВ».
(тема)

Пояснительная записка

Руководитель

 09.02.2018
(подпись, дата)

К.Т.Н., доцент
(должность, ученая степень)

Р.С. Кузьмин
(инициалы, фамилия)

Выпускник

 09.02.2018
(подпись, дата)

И.П. Найдешкин
(инициалы, фамилия)

Красноярск 2018г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему: «Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Оценка воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 110кВ»» содержит 117 листов, 54 рисунка, 22 таблиц, 10 источников, 8 листов формата А1 графического материала.

АКТУАЛЬНОСТЬ, РАЗРАБОТКА, МОНТАЖ, НАЛАДКА И АПРОБАЦИЯ СТЕНДА, ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.

Объектом дипломного проектирования является лабораторная установка для оценки воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 110кВ.

Цель работы: разработка стенда и методического обеспечения по оценке воздействий высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств.

В процессе работы проведены: классификация электромагнитных помех и требования к микропроцессорным устройствам, теоретическое изучение влияния электромагнитных помех на работоспособность микропроцессорных устройств, разработка схемы стенда по оценке воздействий высокочастотной составляющей тока короткого замыкания на функционирование микропроцессорных устройств, разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда, разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы, выполнение условий безопасности жизнедеятельности при монтаже и наладке лабораторного стенда, разработка сетевого графика создания стенда для своевременного завершения работ.

Использование установки в лабораторном практикуме поможет студентам в закреплении теоретических знаний по тематике лекционного материала дисциплины «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение..... | 7 |
| 1 Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»..... | 8 |
| 1.1 Актуальность разработки лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» | 8 |
| 1.2 Описание лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» | 12 |
| 1.3 Схема электроснабжения и приборный парк лаборатории | 25 |
| 1.4 Выводы по разделу..... | 28 |
| 2 Теоретическая разработка и компьютерное моделирование схемы стенда «Оценка воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 110, 220кВ» | 29 |
| 2.1 Классификация электромагнитных помех | 29 |
| 2.2 Степени жесткости испытаний МПУ на помехоустойчивость | 32 |
| 2.3 Противофазные и синфазные помехи | 35 |
| 2.4 Имитация импульсных помех..... | 36 |
| 2.5 Апробация виртуальной схемы стенда | 41 |
| 2.5.1 Методика измерения синфазной и противофазной помех | 41 |
| 2.5.2 Результаты апробации виртуальной схемы стенда | 42 |
| 2.5.3 Способы снижения уровня электромагнитных помех | 46 |
| 3 Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда..... | 54 |
| 3.1 Разработка дизайна и конструкции стенда..... | 54 |
| 3.2 Выбор рабочего напряжения | 56 |
| 3.3 Разработка монтажной схемы..... | 57 |
| 3.4 Выбор необходимых измерительных приборов и оборудования | 59 |
| 3.5 Апробация реальной схемы стенда | 65 |
| 4 Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы «Оценка воздействия высокочастотной составляющей однофазного тока короткого замыкания на работоспособность МПУ подстанций 110кВ» | 84 |
| 4.1 Методические указания к лабораторным работам: «Оценка воздействия высокочастотной составляющей однофазного тока короткого замыкания на работоспособность МПУ подстанций 110кВ»..... | 84 |
| 4.1.1 Введение..... | 87 |
| 4.1.2 Техника безопасности при работах в лаборатории | 87 |
| 4.1.3 Общие указания по оформлению отчетов..... | 88 |
| 4.1.4 Общие положения | 88 |
| 4.1.5 Термины и определения | 94 |
| 4.1.6 Теоретические основы имитации высокочастотной составляющей тока короткого замыкания | 97 |

| | |
|--|-----|
| 4.1.7 Лабораторная работа №1..... | 100 |
| 4.2 Возможные варианты выполнения лабораторной работы с исходными данными и полученными результатами..... | 106 |
| 5 Выполнение условий безопасности жизнедеятельности при монтаже и наладке лабораторного стенда..... | 108 |
| 5.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов..... | 108 |
| 5.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда..... | 108 |
| 5.2.1 Электробезопасность | 109 |
| 5.2.2 Правила безопасности перед выполнением работы..... | 109 |
| 5.2.3 Правила безопасности при выполнении работы | 109 |
| 5.2.4 Правила безопасности по окончанию работы..... | 110 |
| 5.2.5 Действия в случае аварийной ситуации | 110 |
| 5.3 Мероприятия по производственной санитарии | 110 |
| 5.4 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности..... | 111 |
| 6 Разработка сетевого графика | 112 |
| Заключение | 115 |
| Список сокращений | 116 |
| Список использованных источников | 117 |

ВВЕДЕНИЕ

Широкое использование микропроцессорной техники и устройств на подстанциях(ПС) напряжением 110кВ и выше требует решения вопроса электромагнитной совместимости с оборудованием ПС и режимами ее работы. К режимам работы относятся: нормальный режим эксплуатации и аварийные режимы. К аварийным режимам работы относятся: режимы короткого замыкания(КЗ) и эксплуатация ПС в период грозовой активности.

Известно[1], что импульсные магнитные поля, возникающие в режиме короткого замыкания или при разряде молнии в молниеприемник на ПС, негативно влияют на работоспособность микропроцессорных устройств (МПУ). Негативное влияние на работоспособность МПУ оказывают и электромагнитные помехи, распространяющиеся в воздушном пространстве или по контрольным кабелям. Одним из важных аспектов воздействия режимов КЗ на работоспособность МПУ является устойчивость функционирования МПУ к синфазным и противофазным электромагнитным помехам. Синфазные и противофазные электромагнитные помехи относят к кондуктивным помехам. Кондуктивные помехи распространяются по проводникам, в качестве которых, могут выступать экраны контрольных кабелей, горизонтальные заземлители в конструкции заземляющего устройства. Кондуктивные помехи могут приводить к термическому разрушению портов МПУ, вследствие этого МПУ становятся неработоспособными.

Одним из основных источников возникновения кондуктивных помех является высокочастотная составляющая тока однофазного короткого замыкания в сетях 110 кВ и выше.

Приобретение студентами навыков и опыта в оценке воздействия кондуктивных помех на работоспособность МПУ является актуальной задачей.

Вследствие этого, целью настоящей дипломной работы является разработка стенда и методического обеспечения по оценке воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работу МПУ. Для решения поставленной цели необходимо рассмотреть следующие задачи:

1. Классификация электромагнитных помех и требования к МПУ.
2. Теоретическое изучение влияния электромагнитных помех на работоспособность МПУ, разработка схемы стенда по оценке воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на функционирование МПУ
3. Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда.
4. Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы по оценке воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работу МПУ.
5. Выполнение условий безопасности жизнедеятельности при монтаже и наладке лабораторного стенда.
6. Разработка сетевого графика создания стенда для своевременного завершения работ.

1 Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

1.1 Актуальность разработки лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

Учебной программой подготовки специалистов по направлению «Электрификация и автоматизация горных работ» предусмотрена дисциплина «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Изучение данной дисциплины связано с широким внедрением микропроцессорной техники на ПС. Использование МП техники позволяет коренным образом изменить функционирование подстанций. Защиты выполненные на МПУ становятся универсальными, занимают небольшие пространства, позволяют выполнять резервирование, что приводит к повышению надежности подстанции в целом.

Опыт эксплуатации МПУ на ПС показал, что надежная работа устройств обеспечивается соответствующей электромагнитной обстановкой и электромагнитной совместимостью с режимами работы и оборудованием подстанций. Основные требования для МПУ приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Виды испытаний на помехоустойчивость и помехоэмиссию вторичного оборудования и рекомендуемые степени жесткости

| № п/п | Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость | Нормативный документ | Степень жесткости испытаний (тип соединения) | Параметр | Примечание |
|--------------|---|-------------------------------------|--|--|---|
| 1 | Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю. Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме) и импульсным напряжением. | ГОСТ 30328-95 МЭК 60255-5 | | 2000В переменного тока | Для всех портов питания и для портов проводных цепей, выходящих на РУ |
| Порт корпуса | | | | | |
| 2 | Магнитные поля промышленной частоты от силового оборудования в нормальных и аварийных режимах. На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты | ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8). | 5 степень | 100А/м(длительно) 1000А/м (кратковременно) | Для устройств чувствительных к магнитным полям |
| | | | 2 степень | 3А/м (длительно) | Для мониторов с электроннолучевой трубкой |

Продолжение таблицы 1.1

| | | | | | |
|------------------|---|---|--|--|--|
| 3 | Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от внешних и внутренних устройств связи. На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям | ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 6100-4-3) | Не ниже 3 степени | 10В/м | Для всех устройств |
| 4 | Импульсные магнитные поля от молнии и первичных цепей. На устойчивость к импульсному магнитному полю. | ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93) | Не ниже 4 степени | 300А/м | Для устройств чувствительных к магнитным полям |
| 5 | Разряды статического электричества с персонала. На устойчивость к разрядам статического электричества | ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96) | Не ниже 3 степени жесткости | 6кВ контактный 8кВ воздушный | Для всех устройств. |
| Сигнальные порты | | | | | |
| 6 | Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам. | ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-96) | Локальное Полевое 3 степень (для однократных) 2 степень (для повторяющихся) С оборудованием 4 степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся) | - 2кВ(провод-земля), 1кВ (провод-провод) 1кВ(провод-земля), 0,5кВ (провод-провод) 4кВ(провод-земля), 2 кВ (провод-провод) Противофазное 2,5кВ(провод-земля), 1 кВ (провод-провод) | Для всех устройств |
| 7 | Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии | ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95) | Локальное Провод-земля 2 степень Провод-провод 1 степень Полевое Провод – земля 3 степень Провод-провод 2 степень С оборудованием Провод земля 4 степень Провод – провод 3 степень | 1кВ 0,5кВ 2кВ 1кВ 4кВ 2кВ | Для всех устройств. |

Продолжение таблицы 1.1

| | | | | | |
|--------------------------|--|---|---|---|--|
| 8 | Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам. | ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 60255-22-4). | Локальное 3 степень Полевое 4 степень С оборудованием Специальная степень жесткости | 1кВ 2кВ 4кВ | Для всех устройств |
| 9 | На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150кГц до 80МГц. | ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96) | 3 степень | 10В | Для всех сигнальных портов. |
| Питание постоянным током | | | | | |
| 10 | Провалы напряжения Прерывания напряжения | МЭК 61000-4-29 | 30%(1с) 60%(0,1с) 100%(0,5с) | | Только для входных портов |
| 11 | На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока. | ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99). | Не ниже 3 степени | Пульсации не выше 10% | Для всех портов питания постоянного тока |
| 12 | Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе от 0 до 150 кГц | ГОСТ Р 51317.4.16-2000 (МЭК 61000-4-16-96) | Не ниже 3 степени | 10В (длительно) 100В (1 с) | Для всех портов питания постоянного тока |
| 13 | Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. | ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95). | Провод земля 3 степень Провод-провод 2степень | 2кВ 1кВ | Для всех портов питания постоянного тока |
| 14 | Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам. | ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4). | 4 степень | 4кВ | Для всех портов питания постоянного тока |
| 15 | Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе от 150кГц до 80МГц. | ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96) | 3 степень | 10В | Для всех портов питания постоянного тока |
| 16 | Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам. | ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12) | 4степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся) | 4кВ (провод-земля) 2кВ (провод-провод) 2,5кВ (провод-земля), 1 кВ (провод-провод) | Для всех портов питания постоянного тока |
| Питание переменным током | | | | | |
| 17 | Провалы напряжения Прерывания напряжения | МЭК 61000-4-29 | 30%(50периодов) 60%(1 период) 100%(5периодов) | | Только для входных портов |

Продолжение таблицы 1.1

| | | | | | |
|---------------------------------|---|--|--|---|---|
| 18 | На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока. | ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13). | В соответствии с рекомендациями СТО 56947007-29.240.044-2010 | | Для всех портов питания переменного тока. |
| | На устойчивость к колебаниям напряжения | ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000). | | | |
| | На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания | ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94). | | | |
| 19 | На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока | ГОСТ Р 51317.4..28 - 2000 (МЭК 61000-4-28-2000). | | | |
| 20 | На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.. | ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96). | Не ниже 3 степени | 10В | Для всех портов питания переменного тока |
| 21 | Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам. | ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12) | 4степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся) | 4кВ(провод – земля) 2кВ (провод-провод) 2,5кВ (провод-земля), 1кВ (провод-провод) | Для всех портов питания переменного тока |
| 22 | На устойчивость к наносекундным импульсным помехам | ГОСТ Р51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4). | 4степень | 4кВ | Для всех портов питания переменного тока |
| 23 | Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. | ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96). | Провод -земля 4 степень Провод-провод 3 степень | 4кВ 2кВ | Для всех портов питания переменного тока. |
| Порт функционального заземления | | | | | |
| 24 | На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи применением емкостных клещей связи) | ГОСТ Р51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4). | 4 степень | 4кВ | Требования применяют к соединениям с функциональным заземлением, отделенным от защитного заземления |
| 25 | Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.. | ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96). | Не ниже 3 степени | 10В | 10В=140дБ |

Окончание таблицы 1.1

| Помехоэмиссия | | | | | |
|---------------|---|--|--|--|--|
| 26 | Радиопомехи от оборудования. Помехоэмиссия | ГОСТР 51318.22- 99 (СИСПР 22 - 97) ГОСТР 51318.11-99 (СИСПР 11-97) | | | |

Анализ таблицы 1.1 указывает на то, что применение МПУ допускается после выполнения обследования электромагнитной обстановки на ПС. Комплексное обследование электромагнитной обстановки на ПС выполняется в следующих направлениях:

1. Диагностика заземляющего устройства (ЗУ).
2. Анализ эффективности систем молниезащиты.
3. Устойчивость МПУ к режимам КЗ и ударам молнии.
4. Измерение, расчеты и анализ влияния электромагнитных полей на функционировании МПУ.
5. Изучение влияния импульсных электромагнитных полей и качества электрической энергии на работоспособность МПУ.
6. Влияние качества источников постоянного тока на состояние МПУ.

Методы измерения параметров ЭМО и методика их анализа приведена в СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях»; СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства»; СТО 56947007-29.130.15.105-2011 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок».

Данные материалы позволяют разработать лабораторию по дисциплине «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на ПС». Наличие данной лаборатории является актуальным, так как позволяет привить навыки и умения студентам по основным направлениям, связанным с изучением ЭМО и ЭМС на подстанциях.

1.2 Описание лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

Лаборатория по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» расположена на 3 этаже учебного корпуса института горного дела геологии и геотехнологий СФУ в аудитории 307. Общая площадь лаборатории составляет 48,9м². Внешний вид помещения до расположения оборудования и стендов лаборатории показан на рисунке 1.1.



Вид - А



Вид - Б

Рисунок 1.1 – Внешний вид аудитории № 307 до создания лаборатории

Для проведения лабораторных работ по курсу ЭМО и ЭМС были разработаны следующие стенды:

1. «Оценка качества электропитания источника постоянного тока»
2. «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»
3. «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»
4. «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения»
5. «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»
6. «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»

Внешний вид лицевых панелей перечисленных стендов показан на рисунках 1.2 - 1.7.

Внешний вид лаборатории с установленными стендами показан на рисунках 1.8 - 1.9.

Стенд №1 . «Оценка качества электропитания источника постоянного тока».

Позволяет оценить основные показатели качества источника постоянного тока, к которым относятся: отклонение напряжения, размах и пульсация выпрямленного напряжения. Данный стенд наглядно показывает, как влияет схема источника постоянного тока на качество электропитания. Кроме того данный стенд демонстрирует как изменяется качество электропитания источника постоянного тока при использовании LC фильтров и аккумуляторных батарей. С помощью стенда, можно проследить, какие изменения происходят в выпрямленном напряжении в случае выхода из строя силовых диодов. Методическое обеспечение данного стенда включает 6 вариантов выполнения работы.

Оценка качества электропитания источника постоянного тока

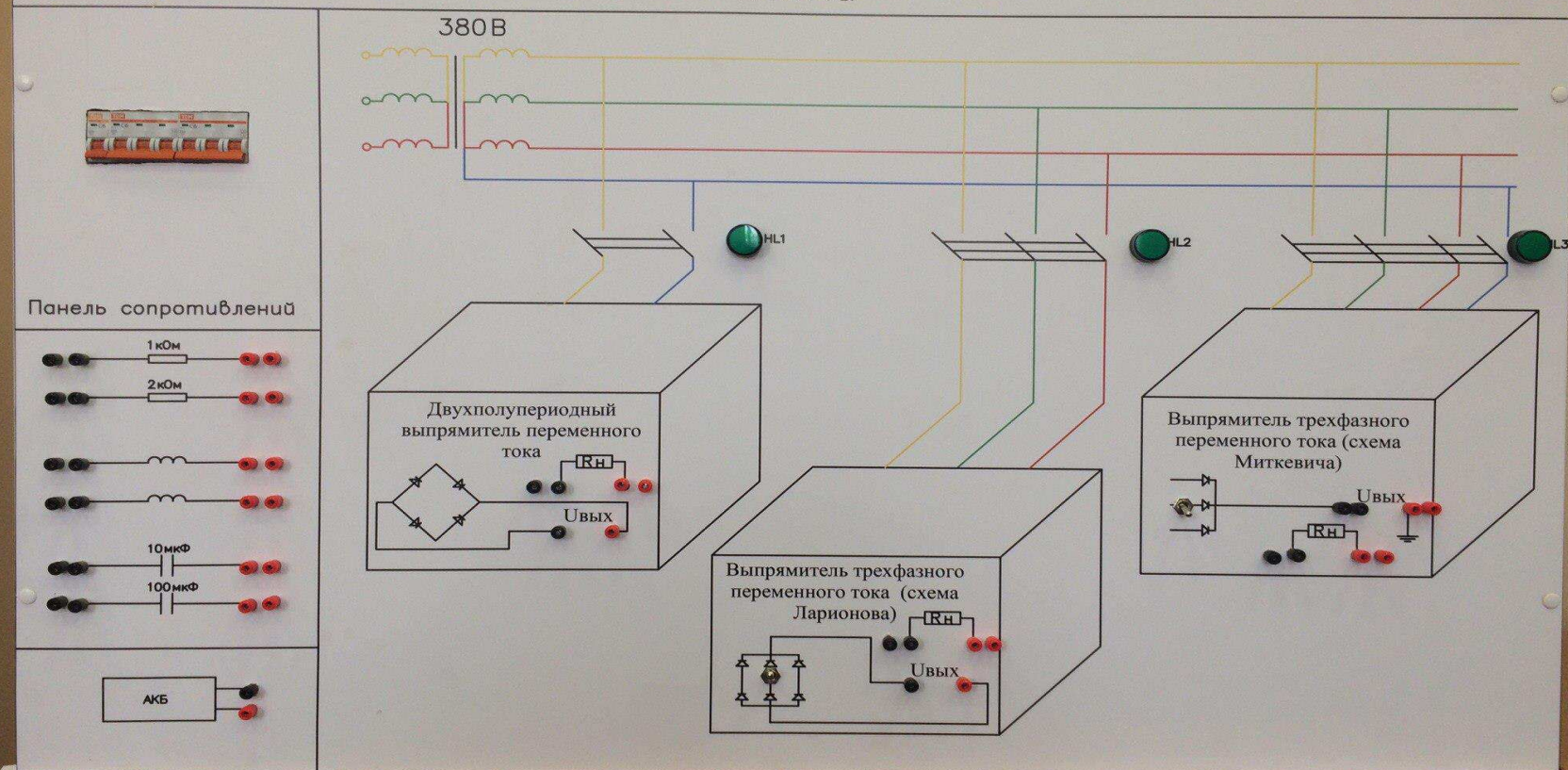


Рисунок 1.2 – Лицевая панель стенда «Оценка качества электропитания источника постоянного тока»

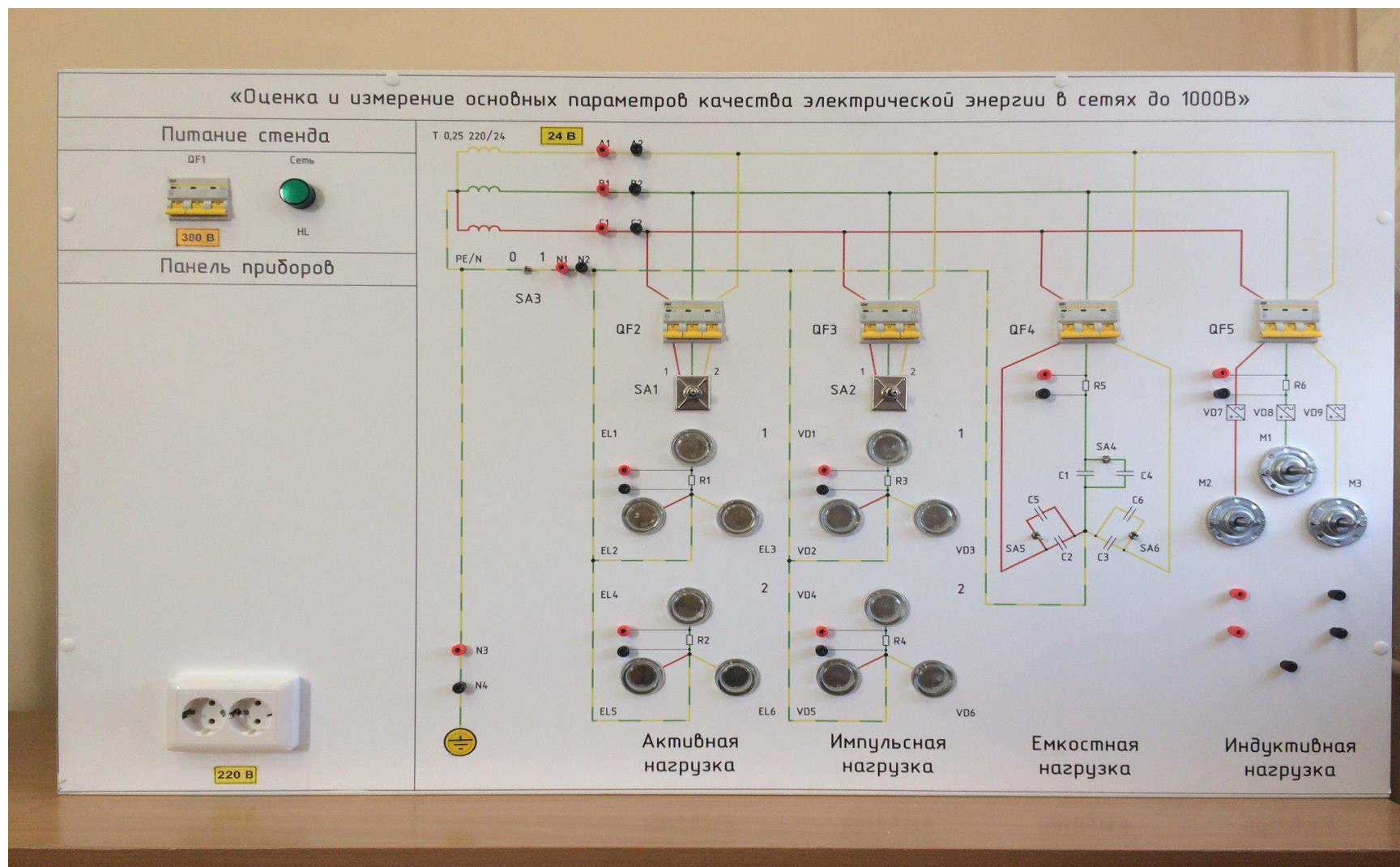


Рисунок 1.3 – Лицевая панель стенда «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»

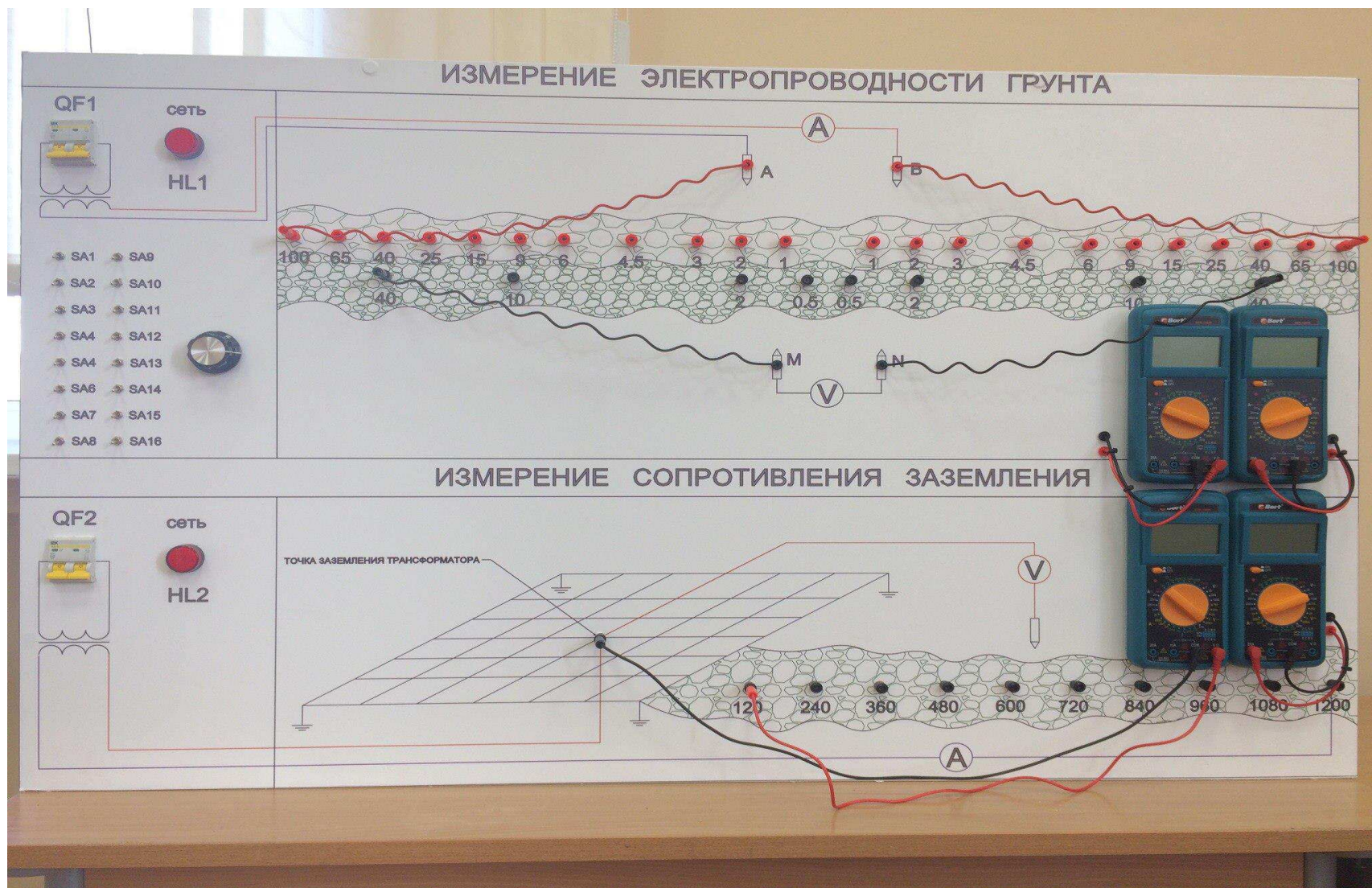


Рисунок 1.4 – Лицевая панель стенда «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»

Определение металlosвязи и напряжения прикосновения

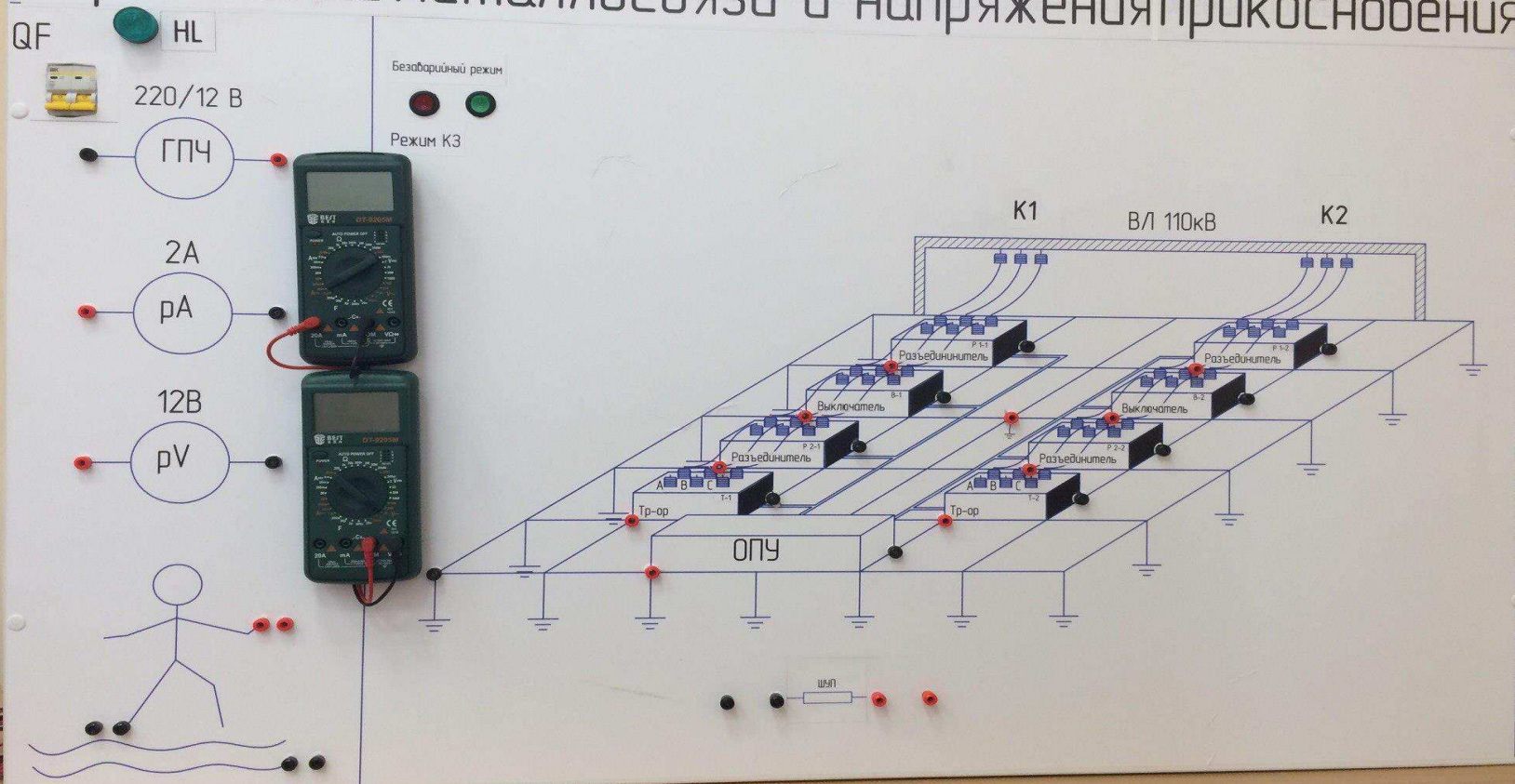


Рисунок 1.5 – Лицевая панель стенда «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения»

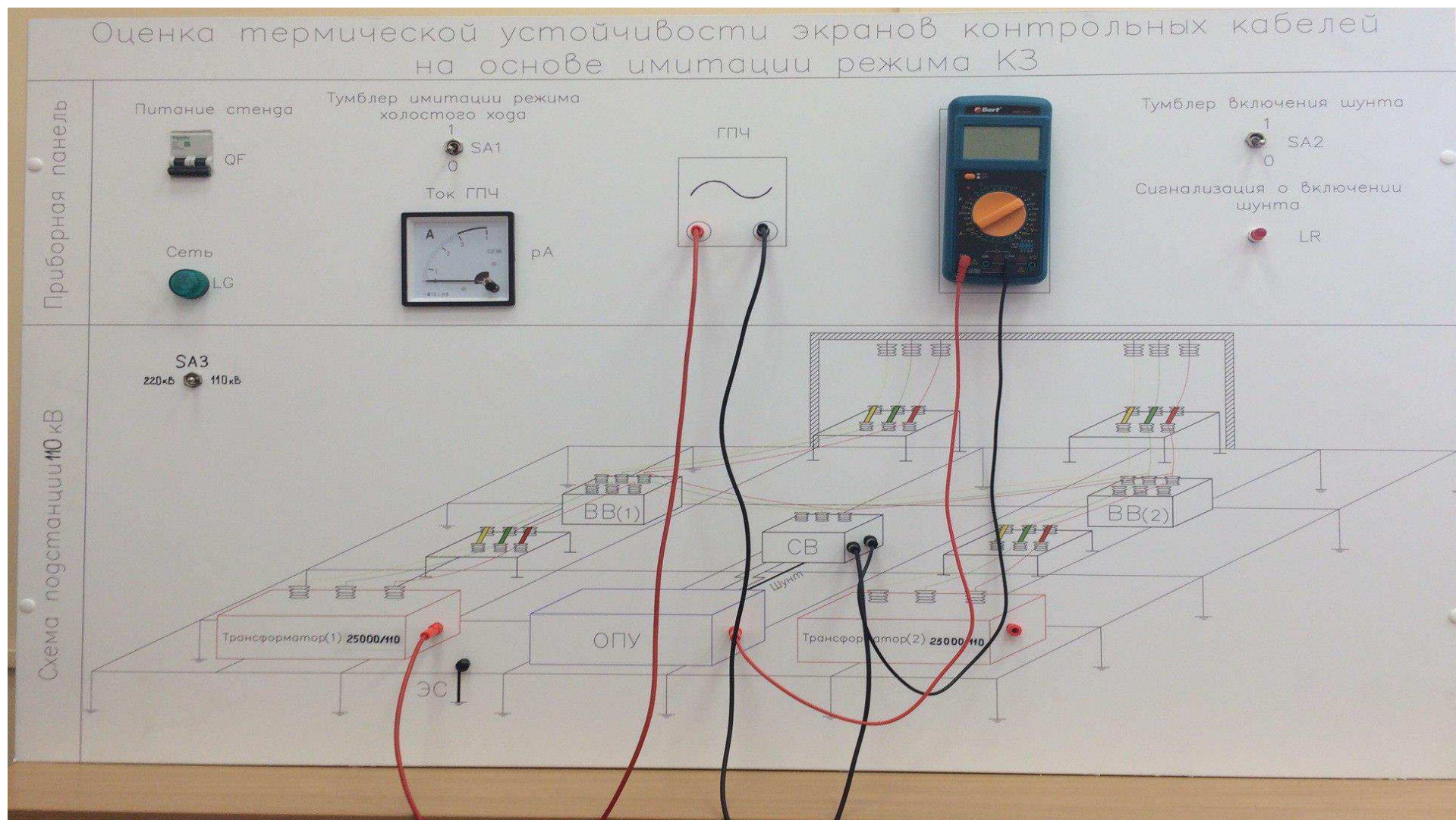


Рисунок 1.6 – Лицевая панель стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

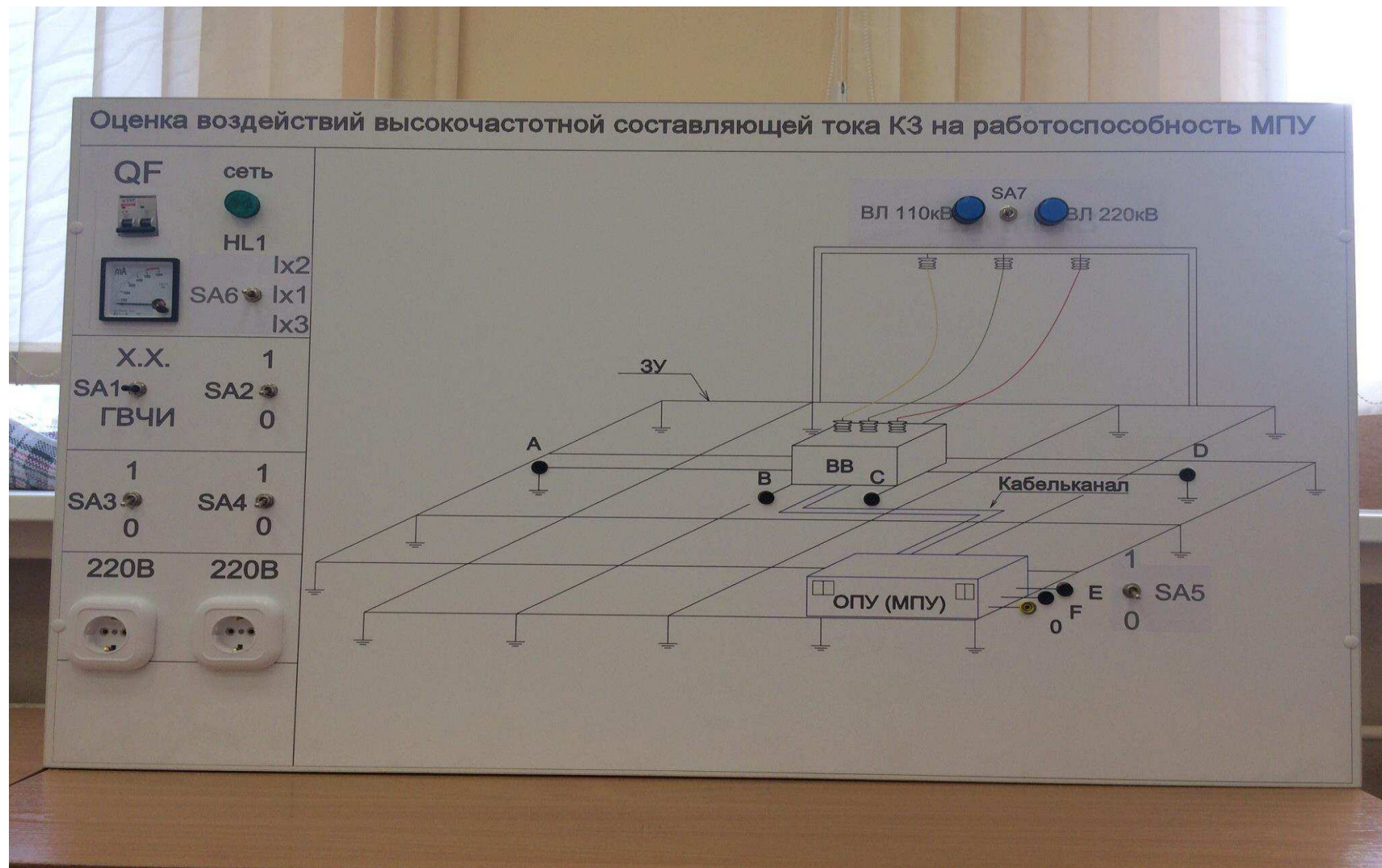


Рисунок 1.7 – Лицевая панель стенда «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»



Рисунок 1.8 – Внешний вид лаборатории по изучению электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости на подстанциях.



Рисунок 1.9 - Внешний вид лаборатории по изучению электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости на подстанциях.

Стенд №2 «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В».

Данный стенд позволяет оценить основные параметры качества электрической энергии в сетях переменного тока до 1000В. К таким показателям относятся: отклонение напряжения, отклонение частоты, несимметрия напряжения, несинусоидальность напряжения и тока, спектральный состав напряжения и тока, фликер. Стенд позволяет измерять и анализировать показатели качества в сетях изолированной и глухозаземленной режимами нейтралей. С помощью стенда можно имитировать как линейную, так и не линейную нагрузку. В роли линейной нагрузки выступают лампы накаливания и конденсаторы. В качестве нелинейной нагрузки используются электродвигатели и светодиодное освещение. Кроме этого использование светодиодов позволяет установить влияние импульсной нагрузки на показатели качества электрической энергии. Наличие электроприемников, имеющих различные параметры, позволяет в комплексе оценить их влияние на показатели качества электроэнергии, например параллельная работа электродвигателей с системами освещения выполненными на лампах накаливания или светодиодных лампах, влияние конденсаторных установок на токи электродвигателя и т.д. Таким образом, данный стенд в достаточной мере отражает влияние нагрузки на показатели качества электроэнергии. Методическое обеспечение данного стенда включает 8 вариантов выполнения работы.

Стенд №3 «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления».

Данный стенд позволяет изучить методы по измерению электропроводности грунтов и заземляющих устройств подстанций и привить соответствующие навыки студентам. В основу измерения электропроводности грунтов положен метод вертикального электрического зондирования, так как данный метод нашел широкое применение на практике. Измерение сопротивления заземления ПС производится по методу амперметра – вольтметра. Указанные методы измерений электропроводности грунтов и заземления рекомендованы СТО 56947007-29.130.15.105-2011. Кроме этого, полученные данные по электропроводности грунта на ПС позволяют определить сопротивление ЗУ расчетным путем и сравнить результаты с измеренными данными. Таким образом, работа на данном стенде позволит студентам получить навыки по использованию расчетных и инструментальных методов по определению сопротивления заземления, а также рассчитать напряжение на ЗУ в режиме КЗ. Методическое обеспечение данного стенда включает 10 вариантов выполнения работы.

Стенд №4 «Определение металлосвязи и напряжения прикосновения».

Данный стенд позволяет изучить метод амперметра-вольтметра при определении сопротивления металlosвязи и напряжения прикосновения.

Кроме этого данный стенд наглядно демонстрирует работу шины уравнивания потенциалов для снижения сопротивления металlosвязи и подсыпки из щебня в рабочих зонах на ПС для снижения напряжения прикосновения. Методическое обеспечение данного стенда включает 10 вариантов выполнения работы.

Стенд №5 «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

Данный стенд позволяет изучить влияние режимов КЗ на функционирование МПУ, связанных с надежностью контрольных кабелей. Одной из основных причин выхода из строя контрольного кабеля является протекание токов по экранам контрольного кабеля, которые способны привести к термическому разрушению кабеля. Стенд позволяет изучить метод имитации режима КЗ для оценки токов в экране контрольного кабеля в случае возникновения однофазного КЗ на подстанции. Кроме этого стенд демонстрирует эффективность использования ШУП для снижения токов в экранах контрольных кабелей. Методическое обеспечение данного стенда включает 30 вариантов выполнения работы - 15 вариантов при имитации ПС110кВ и 15 вариантов при имитации ПС 220кВ.

Стенд №6 «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»

Данный стенд изучает влияние переходных процессов в момент возникновения КЗ на ОРУ подстанций. Основным негативным фактором, влияющим на работоспособность МПУ в первый момент времени при возникновении КЗ, являются высокочастотные составляющие тока КЗ, которые через емкостные связи могут привести к термическому разрушению МПУ или к срыву их функционирования. Стенд позволяет изучить методы по определению импульсного сопротивления оборудования, синфазных и противофазных помех поступающих на вход МПУ и оценить опасность данных помех для функционирования МПУ. Методическое обеспечение данного стенда включает 6 вариантов выполнения работы - 3 варианта при имитации ПС110кВ и 3 варианта при имитации ПС 220кВ.

Таким образом, стенд №1 и стенд №2 позволяют приобрести навыки по изучению показателей качества источников постоянного и переменного тока. Стенд №3 и №4 позволяют получить теоретические знания и практические навыки, связанные с диагностикой заземляющих устройств. Стенд №5 и №6 дают практические навыки и знания студентам по оценке негативного влияния режимов КЗ на МПУ

На рисунке 1.10 приведен план расположения оборудования в лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

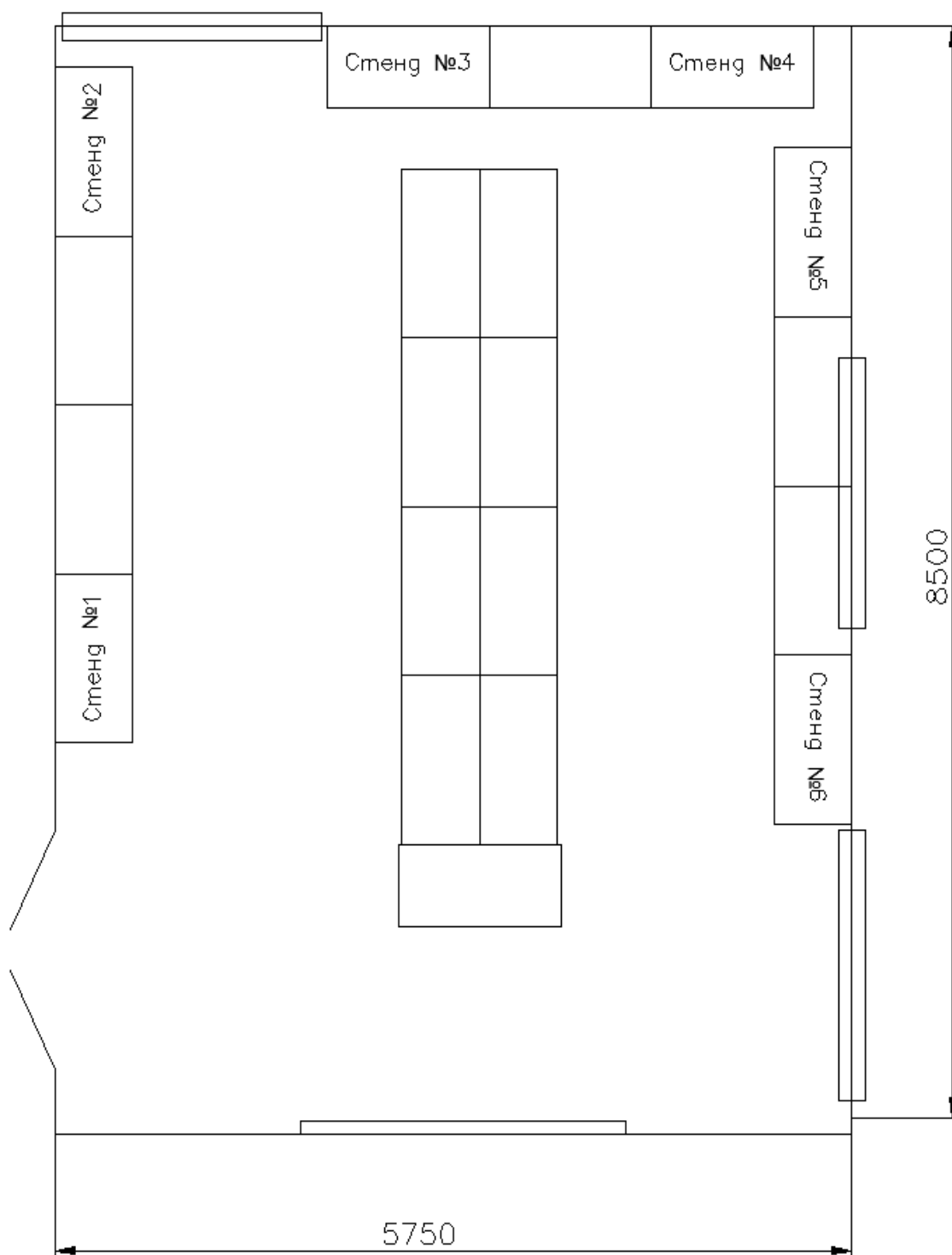


Рисунок 1.10 – План расположения оборудования в лаборатории

1.3 Схема электроснабжения и приборный парк лаборатории

Для питания стендов используется трехфазный переменный ток. Схема электроснабжения приведена на рисунке 1.11.

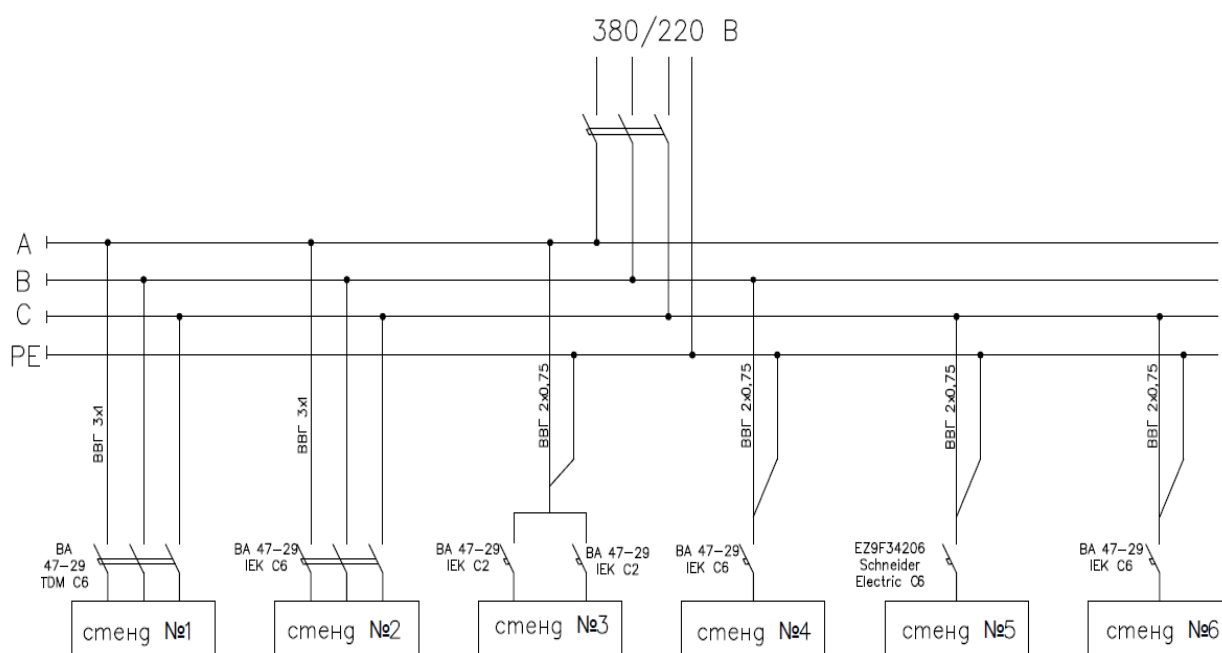


Рисунок 1.11 - Схема электроснабжения лаборатории

В качестве защитных аппаратов используются автоматические выключатели. Перечень применяемых вводных автоматических выключателей по стендам приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Перечень автоматических выключателей

| Стенд | Марка и характеристики автоматического выключателя | Количество |
|--|--|------------|
| «Оценка качества электропитания источника постоянного тока» | BA 47-29 TDM C6 3p | 1 |
| Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В» | BA 47-29 IEK C6 3p | 1 |
| «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления» | BA 47-29 IEK C2 2p | 2 |
| «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения» | BA 47-29 IEK C6 2p | 1 |
| «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ» | EZ9F34206 Schneider Electric C6 2p | 1 |
| «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ» | BA 47-29 IEK C6 2p | 1 |

Стенд № 1 получает питание от трехфазной сети переменного тока 380В. Питание на стенд поступает через трехполюсной автоматический

выключатель ВА 47-29 ТДМ С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 3х1

Стенд №2 также запитывается от трехфазной сети переменного тока 380В. Питание на стенд поступает через трехполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 3х1.

Стенд № 3 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. На данном стенде выполняются 2 лабораторные работы и на каждую работу установлен отдельный двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С2. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд № 4 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд № 5 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель EZ9F34206 Schneider Electric С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд №6 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

На стендах по изучению «Электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости» используются различные приборы. Приборный парк лаборатории представлен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Приборный парк лаборатории

| Наименование прибора | Марка (модель), характеристики | Количество |
|---|--------------------------------|------------|
| Амперметр переменного тока | CZ-96, 0...3А | 1 |
| Аналоговый амперметр переменного тока | CG -72, 0...500мА | 1 |
| Осцилограф | Fluke 196C | 1 |
| Мультиметр | Bort BMM-1000N | 5 |
| Мультиметр | Best DT-9205M | 2 |
| Мультиметр | Mastech MS8268 | 1 |
| Двухканальный генератор сигналов прямого цифрового синтеза | MHS-5200P 25 | 1 |
| Анализатор реистратор качества электрической энергии с функцией измерения фликера | REN-700 | 1 |

1.4 Выводы по разделу

На основании вышеизложенного материала можно сделать следующие основные выводы:

1. Разработанные стенды позволяют оценить основные параметры электромагнитных обстановки и совместимости на подстанциях, соответствующие требованиям нормативных документов Федеральной сетевой компании единой энергетической службы (ФСК ЕЭС) России.

2. Использование современных измерительных приборов позволяет научить студентов их применению в реальных условиях эксплуатации оборудования на ПС.

2 Теоретическая разработка и компьютерное моделирование схемы стенда «Оценка воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 110, 220кВ»

2.1 Классификация электромагнитных помех

Электромагнитная совместимость – функционирование электрического оборудования и микропроцессорных устройств без негативного влияния на работоспособность друг друга.

Электромагнитная обстановка – это условия эксплуатации электрического оборудования и микропроцессорных устройств с учетом их взаимного влияния, а также с учетом влияния технологических факторов и аварийных режимов.

Электромагнитная помеха – нежелательное воздействие электромагнитного, электрического и магнитного полей, а также тока и напряжения любого источника, которое может ухудшить качество функционирования системы за счет искажения информативных параметров полезного сигнала.

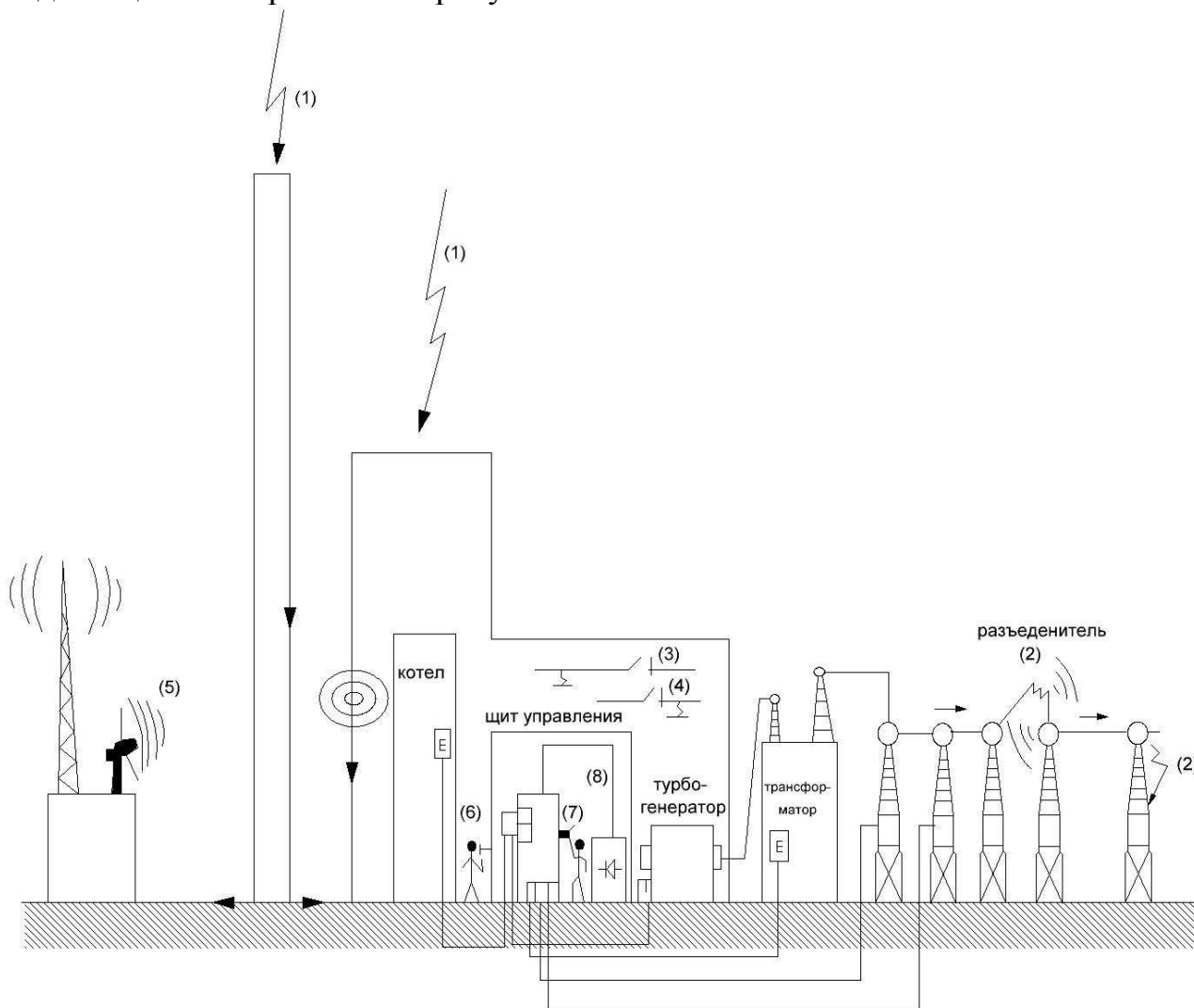
Электромагнитная совместимость (ЭМС) является современным понятием, объединяющим такие известные электромагнитные явления, как радиопомехи, перенапряжения, колебания напряжения сети, электромагнитные влияния, паразитные связи, фон промышленной частоты 50 Гц, воздействия заземления и т.д. Основными понятиями в теории электромагнитной совместимости являются понятия передатчиков и приемников электромагнитной энергии (электромагнитных помех) в их расширенном понимании. К передатчикам электромагнитной энергии относятся телевизионные и радиовещательные устройства, электрические цепи и системы, непреднамеренно излучающие в окружающую среду электромагнитную энергию, некачественные источники питания, могут генерировать электромагнитные помехи, распространяющихся по цепям питания.

На объектах электроэнергетики передатчиками электромагнитных воздействий, которые могут оказывать влияние на автоматические и автоматизированные системы технологического управления электротехническими объектами являются:

- переходные процессы в цепях высокого напряжения при коммутациях силовыми выключателями и разъединителями;
- переходные процессы в цепях высокого напряжения при коротких замыканиях, срабатывании разрядников или ограничителей перенапряжений;
- электрические и магнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием станций и подстанций;
- переходные процессы в заземляющих устройствах подстанций, обусловленные токами КЗ промышленной частоты и токами молний;

- быстрые переходные процессы при коммутациях в индуктивных цепях низкого напряжения;
- переходные процессы в цепях различных классов напряжения при ударах молнии непосредственно в объект или вблизи него;
- разряды статического электричества;
- электромагнитные возмущения в цепях оперативного тока.

Источники электромагнитных помех на электрических станциях и подстанциях изображены на рисунке 2.1.



1 – удар молнии; 2 – переключения и короткие замыкания (КЗ) в сети высокого напряжения; 3 – переключения и КЗ в сети среднего напряжения (СН); 4 – переключения и КЗ в сети низкого напряжения (НН); 5 – внешние источники радиочастотных излучений; 6 – внутренние источники радиочастотных излучений; 7 – разряды статического электричества; 8 – источники кондуктивных помех по цепям питания

Рисунок 2.1 – Источники электромагнитных воздействий на электрических станциях и подстанциях

Электромагнитные влияния могут проявляться в виде обратимых и необратимых нарушений. В качестве обратимого нарушения можно назвать шум при телефонном разговоре. К необратимому нарушению относится сбой в работе системы релейной защиты, приведший к отключению нагрузки.

Вследствие сложности и многообразия электромагнитных помех их классифицируют по различным признакам в зависимости от характера источника и способа распространения.

Классификация электромагнитных помех представлена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 — Классификация электромагнитных помех

Электромагнитные помехи бывают естественные (природные) и искусственные. Естественные электромагнитные помехи образуются электромагнитными процессами и явлениями, которые объективно происходят в различных оболочках Земли и космосе и непосредственно не связаны с деятельностью человека. К ним относятся: шумы космоса — шумы теплового излучения Земли и земной атмосферы, а также планет, Солнца, звезд, межзвездной среды; реликтовое излучение; радиоизлучение Земли и объектов Солнечной системы; атмосферные помехи земли.

Искусственные или индустриальные электромагнитные помехи обусловлены электромагнитными процессами и явлениями в различных технических системах, созданных человеком. По типу распространения выделяют пространственные и кондуктивные помехи. Первые характеризуются воздействием через излучаемое и распространяющееся в пространстве электромагнитное поле, а вторые проникают в аппаратуру по проводниковым каналам связи и электропитания. В частности, кондуктивными называют помехи, возникающие при связи через общее сопротивление, например через заземляющие шины или источники питания. При этом токи от различных схем протекают через общее сопротивление, падение напряжения на котором от каждого из токов будет помехой для других схем. Кондуктивные помехи делятся на синфазные и противофазные.

Электромагнитные помехи в виде излучения от источников помех являются наиболее распространенными. Характеристики излучаемых электромагнитных помех определяются источником помех, расстоянием до приемника помех и параметрами окружающей среды.

Для защиты от электромагнитных полей используются бронированные силовые кабели и экранированные контрольные кабели. Кабельные экраны предназначены для снижения влияния напряжений помех на кабели и излучений помех кабелями и проводами, а также для того, чтобы обеспечить развязку помехосодержащих и чувствительных к помехам проводов при их прокладке в общих кабельных трассах, каналах или жгутах, если это необходимо по каким-либо внешним условиям. Экраны заземляются с обеих сторон, в этом случае минимальный коэффициент экранирования равен 10, это указывает на то, что электромагнитная помеха будет ослаблена в 10 раз.

Электромагнитные помехи, распространяющиеся в проводящей среде попадают на вход МПУ и воздействуют на их работоспособность, за счет наличия естественной емкостной связи между экраном контрольного кабеля и рабочей жилой контрольного кабеля. Емкостная проводимость пропорциональна частоте сигнала (электромагнитной помехи), следовательно, с увеличением частоты сигнала (электромагнитной помехи), помеха будет оказывать негативное влияние на работоспособность МПУ, поэтому к портам МПУ предъявляются специальные требования в зависимости от классификации МПУ с позиции помехоустойчивости.

2.2 Степени жесткости испытаний МПУ на помехоустойчивость

Электромагнитную обстановку принято характеризовать как легкую (класс 1), средней жесткости (класс 2), жесткую (класс 3) и крайне жесткую (класс 4). В соответствии с электромагнитной обстановкой устанавливают степени жесткости испытаний МПУ на помехоустойчивость.

Устойчивость к электромагнитной помехе - способность технического средства сохранять заданное качество функционирования при воздействии на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в

отсутствие дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения технического средства.

Класс (степень) жесткости - соответствующий уровень испытательного электромагнитного воздействия.

Класс 1. Легкая электромагнитная обстановка:

- осуществлены оптимизированные и скоординированные мероприятия по подавлению помех, защите от перенапряжений во всех цепях;
- электропитание отдельных элементов устройства резервировано, силовые и сигнальные цепи выполнены отдельно;
- заземление, прокладка кабелей, экранирование произведено в соответствии с требованиями электромагнитной совместимости;
- климатические условия контролируются и приняты специальные меры по предотвращению разрядов статического электричества.

Класс 2. Электромагнитная обстановка средней тяжести:

- цепи питания и управления частично оборудованы помехозащитными устройствами и устройствами для защиты от перенапряжений;
- отсутствуют силовые выключатели, устройства для отключения конденсаторов, катушек индуктивностей;
- электропитание устройств АСТУ осуществляется от сетевых стабилизаторов;
- имеется тщательно выполненное заземляющее устройство;
- токовые контуры разделены гальванически;
- предусмотрено регулирование влажности воздуха, материалы, способные электризоваться трением, отсутствуют;
- применение радиопереговорных устройств, передатчиков, запрещено.
- Эта обстановка типична для диспетчерских помещений электростанций и подстанций.

Класс 3. Жесткая обстановка:

- защита от перенапряжений в силовых цепях и цепях управления не предусмотрена;
- повторного зажигания дуги в коммутационных аппаратах не происходит;
- имеется заземляющее устройство;
- провода электропитания, управления и коммутационных цепей недостаточно разделены;
- кабели линий передачи данных, сигнализации, управления разделены;
- относительная влажность воздуха поддерживается в определенных пределах, нет материалов, электризуемых трением;
- использование переносных радиопереговорных устройств ограничено (установлены ограничения приближения к приборам на определенное расстояние).

Эта обстановка характерна для электростанций, релейных помещений подстанций.

Класс 4. Крайне жесткая обстановка:

- защита в цепях управления, сигнализации и электропитания от перенапряжений отсутствует;
- имеются коммутационные устройства, в аппаратах которых возможно повторное зажигание дуги;
- существует неопределенность в выполнении заземляющего устройства;
- нет пространственного разделения кабелей электропитания, управления;
- управление и сигнализация осуществляются по общим кабелям;
- допустима любая влажность воздуха и наличие электризуемых трением материалов;
- возможно неограниченное использование переносных переговорных устройств;
- в непосредственной близости могут находиться мощные радиопередатчики;
- вблизи могут находиться дуговые технологические устройства (электропечи, сварочные машины т.п.).

Типичными для этого класса являются территории вблизи электростанций, открытых распределительных устройств среднего и высокого напряжений, где не предусматриваются специальные меры по обеспечению электромагнитной совместимости.

Для условий Российской Федерации, в особенности Сибири и Крайнего Севера, необходимо применять в эксплуатации МПУ, отвечающие 3 или 4 степеням жесткости испытаний на помехоустойчивость. Учитывая цель настоящей работы, в таблице 2.1 приведены минимально допустимые напряжения синфазной и противофазной помех на входе МПУ при электромагнитных воздействиях[1].

Таблица 2.1 — Степени жесткости и нормируемые уровни испытаний при воздействии напряжением затухающих колебаний.

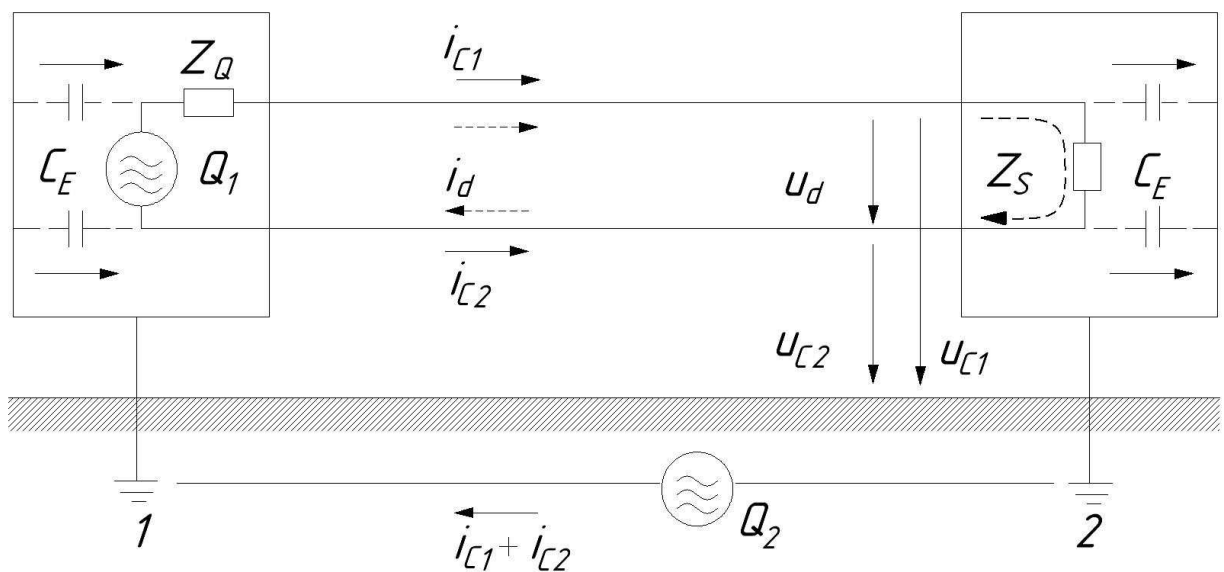
| Степень жесткости | Противофазное напряжение, кВ | Синфазное напряжение, кВ |
|-------------------|---|--------------------------|
| 1 | 0,5 | 0,25 |
| 2 | 1 | 0,5 |
| 3 | 2,5 | 1 |
| Специальная(4) | По согласованию между потребителем и производителем | |

Вывод: При разработке стенда по оценке воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работу МПУ будем ориентироваться на МПУ 3 и 4 степени жесткости испытаний на помехоустойчивость, то есть минимально допустимое напряжение на входе МПУ противофазной помехи составляет 2,5 кВ, а синфазной 1кВ.

2.3 Противофазные и синфазные помехи

Помехи, возникающие в проводах, могут рассматриваться как противофазные или синфазные напряжения и токи.

Синфазные напряжения помех (u_d) возникают между проводами двухпроводной линии. Противофазные помехи (u_c) возникают через гальванические или полевые связи или преобразуются из синфазных помех в системах, несимметричных относительно земли (рисунок 2.3). Конкретные примеры возникновения синфазных помех рассматриваются в последующих разделах.



C_E - паразитные емкости относительно заземленного корпуса; Q_1 – источник синфазных помех; Q_2 - источник противофазных помех; Z_Q, Z_S – полные сопротивления источника и приемника помех; i_{C1}, i_{C2} - противофазные токи, i_d - синфазный ток; u_{C1}, u_{C2} - противофазные напряжения помех; u_d – синфазное напряжение помех

Рисунок 2.3 – Помехи, связанные с передачей сигналов по линии

Синфазные напряжения помех непосредственно накладываются на полезные сигналы в сигнальных цепях или на напряжение питания в цепях электроснабжения, воздействуют на линейную изоляцию между проводами и могут быть восприняты как полезные сигналы в устройствах автоматизации и тем самым вызывать ошибочное функционирование.

Противофазные напряжения помех (несимметричные, продольные напряжения) возникают между каждым проводом и землей и воздействуют на изоляцию проводов относительно земли.

Противофазные помехи обусловлены главным образом разностью потенциалов в цепях заземления устройства, например между точками 1 и 2

(рисунок 2.3), вызванной токами в земле (аварийными, при замыканиях высоковольтных линий на землю, рабочими или токами молнии) или магнитными полями.

2.4 Имитация высокочастотных помех

При коммутациях и коротких замыканиях на землю в ЗУ через паразитные емкости оборудования на землю проходит импульсный ток высокой частоты. На оборудовании возникает скачок потенциала. Возросший потенциал с определенным коэффициентом ослабления передается по кабелям на вход МПУ, что приводит к нарушению работоспособности МПУ.

Высокочастотную (ВЧ) составляющую тока короткого замыкания имитируют при помощи генератора высокочастотных импульсов (ГВЧИ). Схема экспериментов приведена на рисунке 2.4. Для измерений выбирают цепи, где ожидается наибольший уровень помех. Такими являются цепи, для которых входное сопротивление на устройствах в нормальном режиме больше 1 кОм (например, разомкнутый контакт)[1].

При коммутациях и коротких замыканиях на землю в результате переходного процесса в цепях высокого напряжения происходит разряд емкостей оборудования и шин на землю, и через заземлитель проходит импульсный ток высокой частоты.

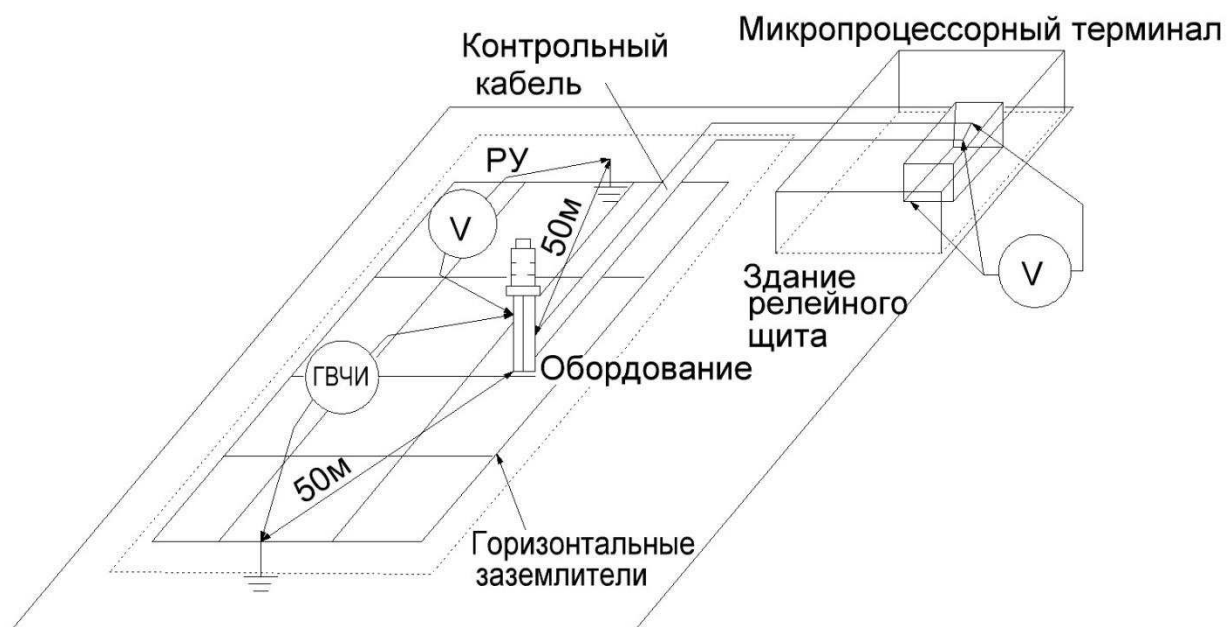


Рисунок 2.4 – Схема эксперимента по определению импульсных помех при протекании высокочастотной составляющей тока КЗ

На заземляющем устройстве оборудования и в месте короткого замыкания происходит импульсный подъем потенциала. Этот потенциал с определенным коэффициентом ослабления передается по кабелям на вход устройств систем релейной защиты и технологического управления.

Для определения значений импульсных помех проводят имитационные испытания. Имитацию высокочастотной составляющей тока короткого замыкания осуществляют при помощи генератора высокочастотных импульсов (ГВЧИ).

Один вывод генератора подключают к заземляющему проводнику оборудования, к которому приходят кабели от устройств систем релейной защиты и технологического управления, а второй вывод генератора заземляют на расстоянии не менее 50 м от данного оборудования, если удельное сопротивление грунта менее 1000 Ом·м[2]. В заземление оборудования подают импульсный ток. Также измеряют импульсный потенциал заземляющего устройства и определяют импульсное сопротивление заземления оборудования. Потенциал измеряют относительно точки, удаленной от места ввода тока на расстояние не менее 50 м в противоположном направлении от точки заземления генератора.

Высокая частота обуславливает резко неравномерное распределение потенциала на заземляющем устройстве. Чем меньше удельное сопротивление грунта, тем быстрее спадает потенциал на заземляющем устройстве по мере удаления от места ввода тока. На расстоянии 50 м от точки ввода импульсного тока потенциал падает более чем в 10 раз даже при сопротивлении грунта 1 Ом·м. Необходимое расстояние между оборудованием и местом заземления второго выхода генератора определяют по таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Необходимое расстояние между оборудованием и местом заземления

| Удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м | Необходимое расстояние до места заземления второго выхода генератора, м |
|---|---|
| < 1000 | 50 |
| 1000 - 2000 | 60 |
| 2000 - 5000 | 70 |
| 5000 - 10000 | 80 |
| 10000 - 15000 | 90 |

На реальных объектах частота колебаний импульсных помех может изменяться от десятков килогерц до десятков мегагерц. Измерения при трех указанных частотах позволяют установить зависимость уровня импульсных помех от частоты. Включают генератор и при фиксированных амплитуде и частоте колебаний импульса тока проводят измерения импульсным вольтметром или осциллографом синфазных и противофазных помех на зажимах в месте подключения кабелей к МПУ.

Одновременно с измерением помех в цепях вторичной коммутации проводят измерение потенциала на заземляющем проводнике оборудования и определяют импульсное сопротивление Z растеканию тока как отношение максимальных значений напряжения и выходного тока генератора. Потенциал на заземляющем оборудовании измеряют с помощью импульсного вольтметра или осциллографа относительно земли на расстоянии не менее 50 м в противоположном направлении от места заземления генератора.

Изменяют частоту колебаний импульса тока и повторяют измерения. Допускается выбрать не менее двух образцов однотипного оборудования, например выключателей, и провести измерение импульсных помех в цепях вторичной коммутации только этого оборудования. Результаты измерений при имитации импульсных помех приводятся к реальному значению высокочастотной составляющей тока короткого замыкания. Реальный ток определяют путем расчета переходного процесса на шинах распределительного устройства при коммутациях и КЗ на землю или принимают из таблицы 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры ВЧ составляющей тока КЗ для ОРУ

| $I_{вч}$ | Номинальное напряжение подстанции $U_{ном}$ | | | |
|----------|---|--------|--------|--------|
| | 110 кВ | 220 кВ | 330 кВ | 500 кВ |
| | 1кА | 2кА | 6кА | 8кА |

На основании изучения влияния электромагнитных помех на работоспособность МПУ была предложена нижеследующая теоретическая разработка стенда.

Для теоретической разработки схемы стенда было использовано программное обеспечение National Instruments «Multisim 12.0», позволяющее задавать условия задачи в графическом виде, что упрощает разработку и апробацию схемы.

В условия разработки стенда по оценке влияния высокочастотной составляющей тока КЗ на работу МПУ были заложены следующие критерии: Синфазная помеха (U_c) в 3-5 раз меньше противофазной (U_n), что должно быть наглядно показано на осциллограммах при работе студентов на данном стенде. Так же необходимо научить студентов измерять и рассчитывать импульсное сопротивление оборудования.

Преобразуем схему испытаний МПУ, показанной на рисунке 2.4, в принципиальную схему стенда, приведенную на рисунке 2.5.

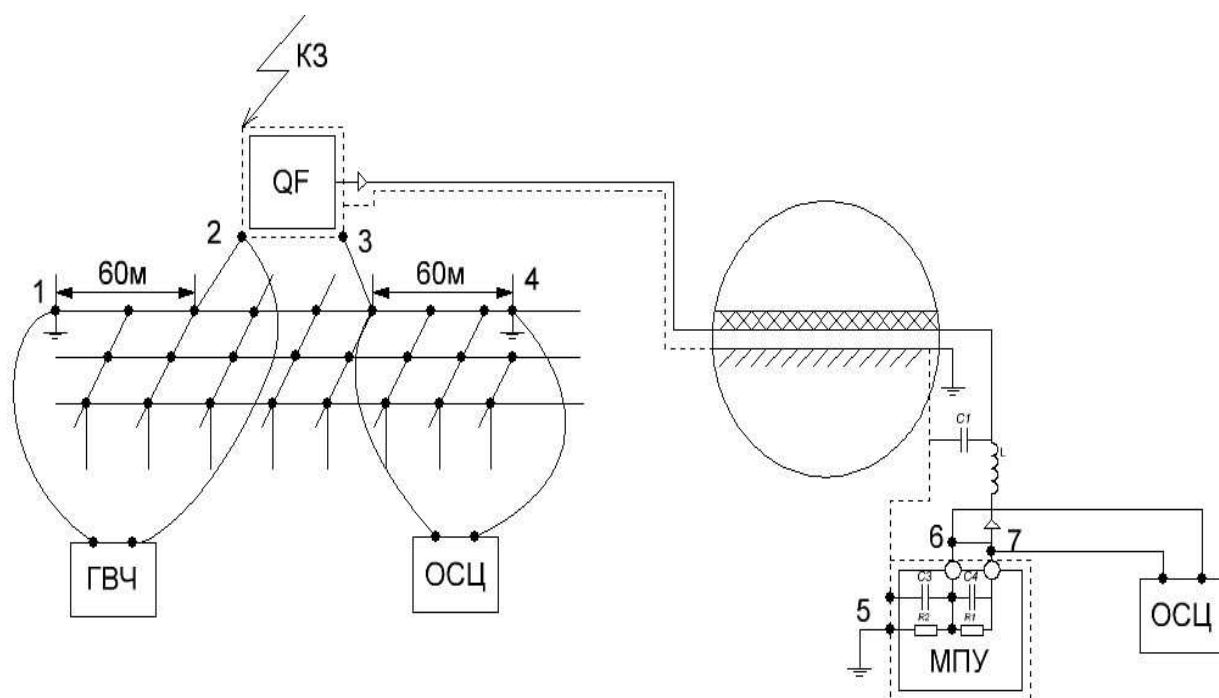


Рисунок 2.5 – Принципиальная схема стенда по оценке воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работу МПУ

При моделировании заменим реальные элементы на эквивалентные сопротивления и емкости. В ходе моделирования и последующего поиска необходимого оборудования было выявлено, что максимальная мощность, которую может выдать имеющийся генератор высокочастотных сигналов, составляет 15 Ватт, поэтому было принято решение подобрать все параметры и элементы схемы с запасом мощности, что целесообразно по экономическим соображениям и в целях безопасности. В результате преобразований получили электрическую схему стенда, представленную на рисунке 2.6

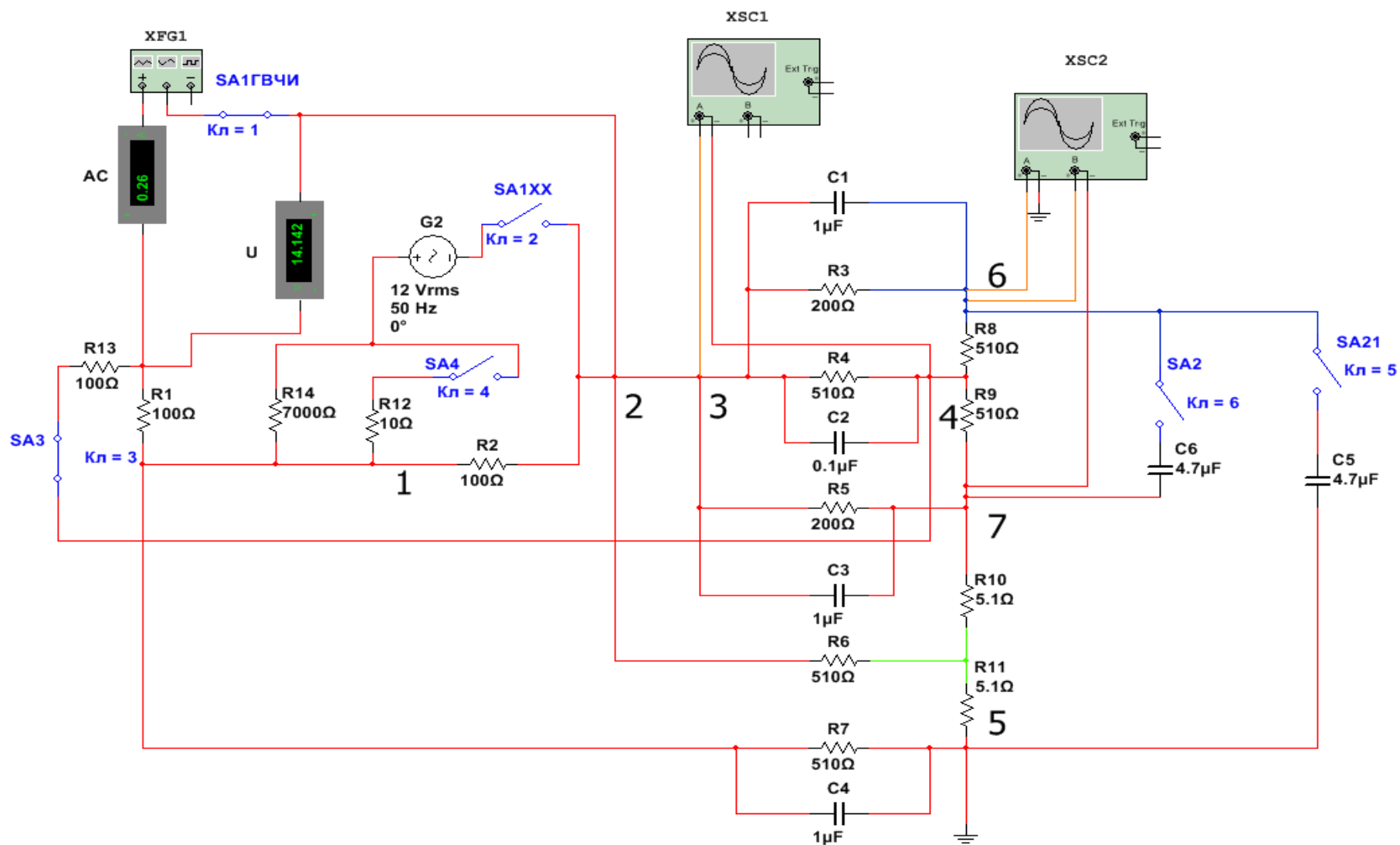


Рисунок 2.6 – Электрическая схема стенда в среде Multisim

Эквивалентное сопротивление между точками 1-2 и 3-4 соответственно составляет 200 Ом и 204 Ом, что соответствует равноудаленности электродов от объекта испытаний (выключатель QF). Синфазную помеху измеряем между точками 6 и 7, а противофазную помеху измеряем между точками 6 и 5.

В схеме, представленной на рисунке 2.6 между точками 6, 7 и 5 образуется делитель напряжений со следующими эквивалентными сопротивлениями: $R_{67} = 268 \text{ Ом}$ и $R_{65} = 1030 \text{ Ом}$. Указанный делитель образует соотношение напряжений $\frac{U_{6.5}}{U_{6.7}} = 3,85$. Следовательно, синфазная помеха будет в 3,85 раза меньше величины противофазной помехи, что соответствует заданным параметрам.

Конденсаторы C1, C2, C3, C4 обеспечивают более равномерное распределение и деление напряжения на делителе при прохождении высокочастотного сигнала ($f = 60 \text{ кГц}$).

2.5 Апробация виртуальной схемы стенда

2.5.1 Методика измерения синфазной и противофазной помех

Апробацию виртуальной схемы стенда выполним с помощью методики, представленной ниже.

1. Высокочастотную составляющую тока КЗ имитируют при помощи генератора высокочастотных импульсов (ГВЧИ), на схеме обозначен XFG1.

2. ГВЧИ подключаем одним полюсом к заземляющему проводнику (контур) оборудования, на схеме точка (5); а второй полюс генератора подключаем к точке (2) – корпус выключателя.

3. Один вход осциллографа подключаем к корпусу выключателя – точка (2), а второй вход осциллографа подключаем на расстоянии L в противоположном направлении от места подключения (заземления) ГВЧИ для фиксации потенциала на заземляющем проводнике оборудования ($U_{\text{заз.обор.}}$), т.е к точке (4) и по формуле (2.1) определяем импульсное сопротивление оборудования:

$$Z_{\text{имп.обор.}} = \frac{U_{\text{заз.обор.}}}{I_{\text{ГВЧИ}}} \quad (2.1)$$

где $I_{\text{ГВЧИ}}$ - ток ГВЧИ измеряется с помощью амперметра АС.

4. Для определения естественных наводок в контрольном кабеле и на входе МПУ, включаем генератор промышленной частоты G2 и с помощью осциллографа измеряем величину синфазной и противофазной помех в

безаварийном режиме (U_{xx}). После измерений отключаем генератор промышленной частоты.

5. Для определения синфазной и противофазной помех на входе МПУ в аварийном режиме, включаем ГВЧИ, фиксируем ток генератора и с помощью осциллографа измеряем синфазную ($U_{\text{синфазное гвч}}$) и противофазную ($U_{\text{противофазное гвч}}$) помехи.

6. Определяем коэффициенты передачи по формуле:

$$K_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{зав.обор.}}}{U_{\text{ном.имит.}}} \quad (2.2)$$

$$K_{\text{пр.п}} = \frac{U_{\text{гвч}} - U_{\text{xx}}}{U_{\text{противофазное гвч}} - U_{\text{противофазное xx}}}; \quad (2.3)$$

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{U_{\text{гвч}} - U_{\text{xx}}}{U_{\text{синфазное гвч}} - U_{\text{синфазное xx}}}. \quad (2.4)$$

7. Определяем реальное напряжение синфазной и противофазной помех при КЗ по формуле и сравниваем с допустимыми $U_{\text{синф.доп.}} = 1 \text{ кВ}$, $U_{\text{пр.доп.}} = 2,5 \text{ кВ}$:

$$U_{\text{об.р.}} = \frac{I_{\text{вч}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр}}} \quad (2.5)$$

где $I_{\text{вч}}$ – высокочастотная составляющая тока КЗ, определяется согласно таблицы 2.3

Таблица 2.3 - Параметры ВЧ составляющей тока КЗ для ОРУ

| $I_{\text{вч}}$ | Номинальное напряжение подстанции $U_{\text{ном}}$ | | | |
|-----------------|--|--------|--------|--------|
| | 110 кВ | 220 кВ | 330 кВ | 500 кВ |
| | 1кА | 2кА | 6кА | 8кА |

$I_{\text{вч}}$ - наибольшее значение ВЧ составляющей тока КЗ.

2.5.2 Результаты апробации виртуальной схемы стенда

1. С помощью виртуального осциллографа определяем напряжения между корпусом оборудования и потенциальным электродом в режиме холостого хода при выключенном ГВЧИ (U_{xx}). Осциллограмма напряжения

представлена на рисунке 2.7. Амплитудное значение напряжения составило 1,096 В

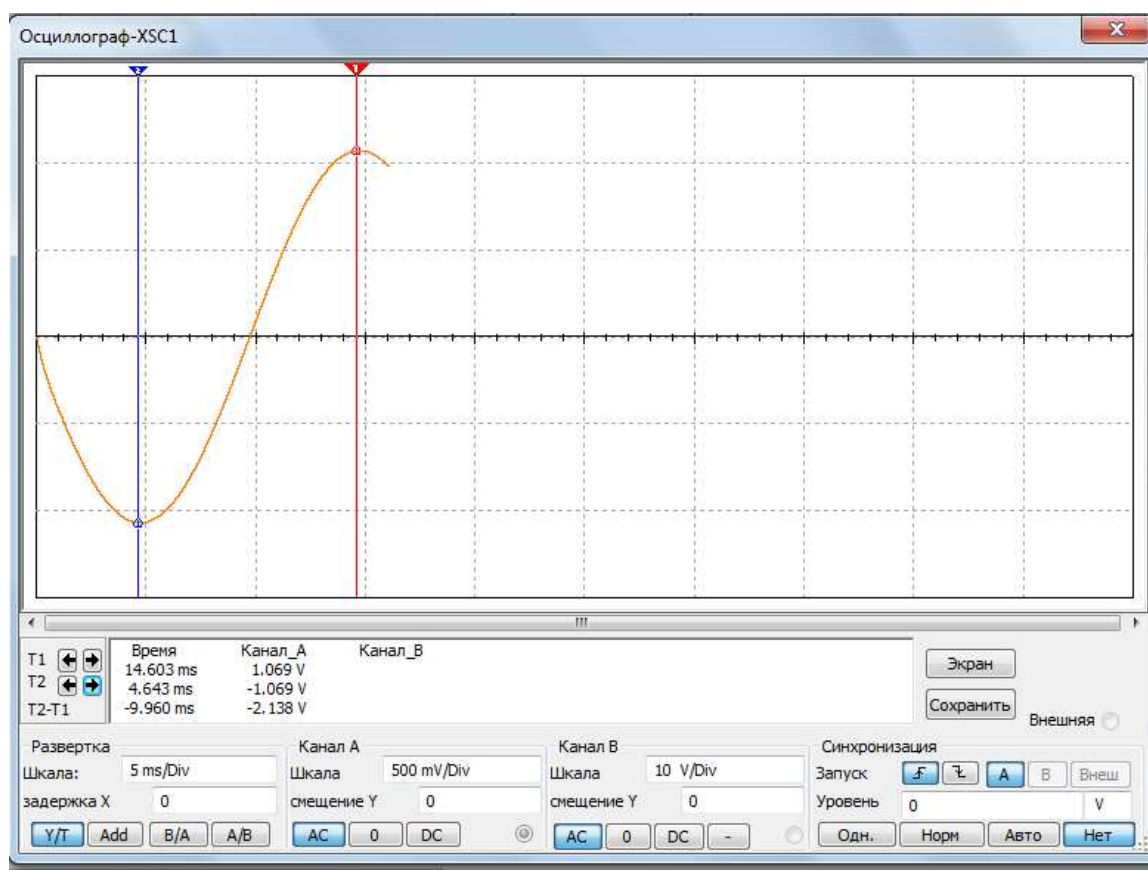


Рисунок 2.7 – Напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в режиме холостого хода

2. Определим напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в аварийном режиме при включенном ГВЧИ ($U_{ГВЧ}$). Осциллограмма напряжения представлена на рисунке 2.8. Амплитудное значение напряжения составило 4,883 В.

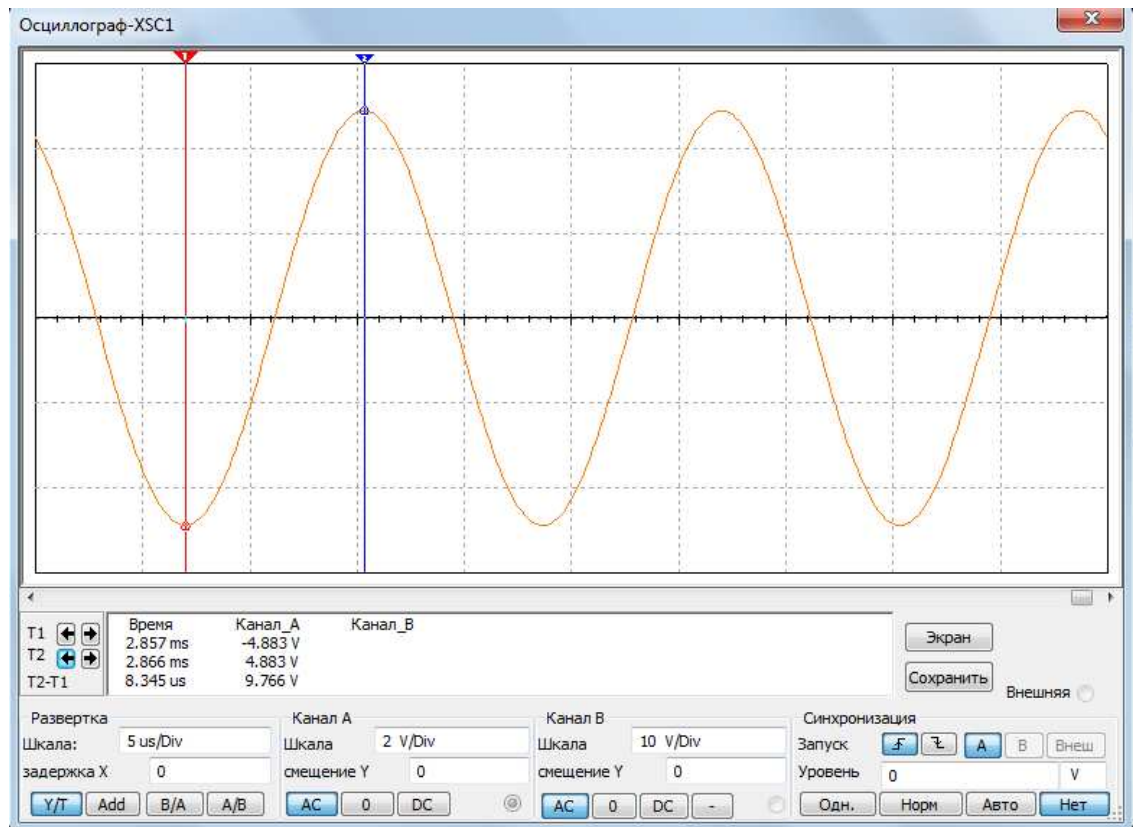
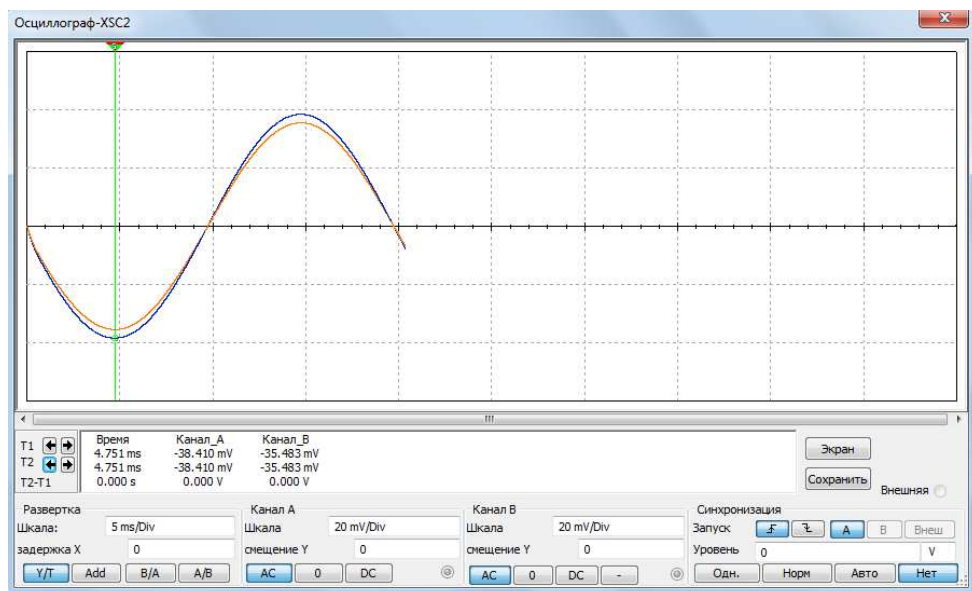


Рисунок 2.8 – Напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в аварийном режиме

3. Определим импульсное сопротивление оборудования по формуле (2.1):

$$Z_{\text{имп.обор.}} = \frac{U_{\text{заз.обор}}}{I_{\text{ГВЧИ}}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{I_{\text{ГВЧИ}}} = \frac{4,883 - 1,069}{0,26} = 14,67 \text{ Ом}$$

4. Определим напряжение на портах МПУ в режиме холостого хода при выключенном ГВЧИ. Осциллограммы напряжений представлены на рисунке 2.9.



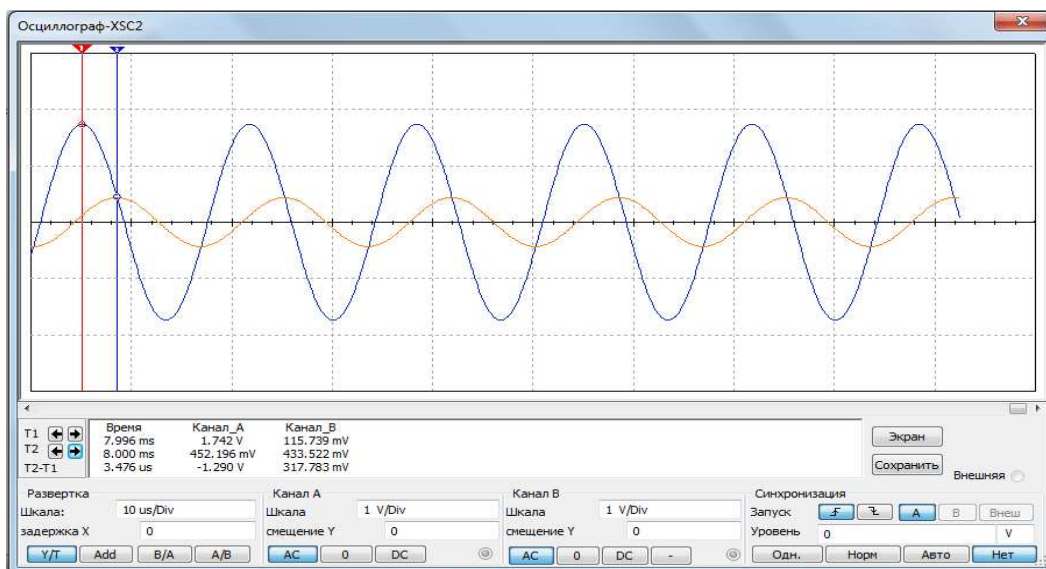
— - синфазная помеха

— - противофазная помеха

$$U_{\text{противофазное хх}} = 38,41 \text{ мВ} ; U_{\text{синфазное хх}} = 35,483 \text{ мВ}$$

Рисунок 2.9 – Напряжение на портах МПУ в режиме холостого хода

5. Определим напряжение на портах МПУ в аварийном режиме при включенном ГВЧИ. Осциллограммы напряжений представлены на рисунке 2.10.



— - синфазная помеха

— - противофазная помеха

$$U_{\text{противофазное гвч}} = 1,742 \text{ В} ; U_{\text{синфазное гвч}} = 0,452 \text{ В}$$

Рисунок 2.10 – Напряжение на портах МПУ в аварийном режиме

6. Определим коэффициенты передачи противофазной и синфазной помех по формулам (2.3),(2.4):

$$K_{\text{пр.п}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{противофазное ГВЧ}} - U_{\text{противофазное ХХ}}} = \frac{4,883 - 1,069}{1,742 - 0,03841} = 2,24;$$

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{синфазное ГВЧ}} - U_{\text{синфазное ХХ}}} = \frac{4,883 - 1,069}{0,452 - 0,03548} = 9,2$$

7. Определим реальное напряжение противофазной и синфазной помех на портах МПУ ОРУ 110кВ по формуле (2.5):

$$U_{\text{пр.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.п}}} = \frac{1 \cdot 14,67}{2,24} = 6,55 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{син.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.с}}} = \frac{1 \cdot 14,67}{9,2} = 1,59 \text{ кВ}$$

8. Сравним реальное напряжение противофазной и синфазной помех с допустимым напряжением для 3 степени жесткости испытаний на помехоустойчивость МПУ:

$$6,55 \text{ кВ} > 2,5 \text{ кВ};$$

$$1,59 \text{ кВ} > 1 \text{ кВ}$$

Вывод - напряжение на входе МПУ выше допустимого, следовательно, необходимо применять меры по снижению уровня электромагнитных помех на портах МПУ.

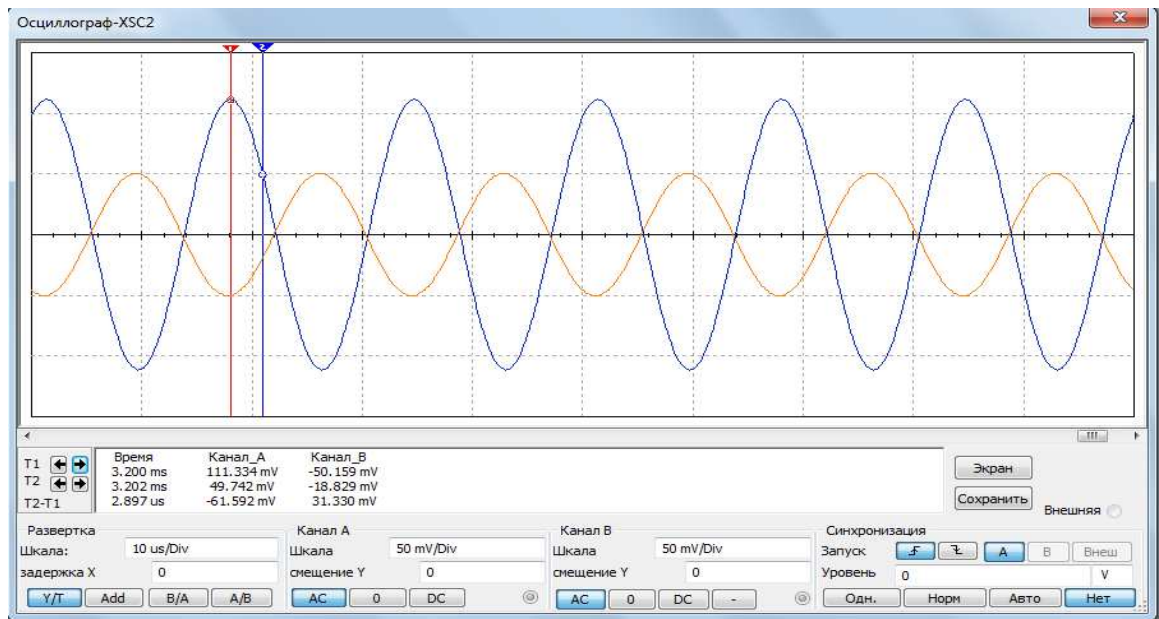
2.5.3 Способы снижения уровня электромагнитных помех

Существует несколько способов снижения уровня электромагнитных помех:

- Установка средств ограничения перенапряжений на источниках помех
- Применение R-C фильтров, активных или широкополосных фильтров

Для нашей схемы, представленной на рисунке 2.6, рассмотрим применение широкополосных фильтров, которые подключим параллельно к портам МПУ (узел 6, 7), а также параллельно к порту МПУ (узел 6) и заземлению (узел 5). В качестве широкополосного фильтра используем конденсаторы С5 и С6 емкостью 4,7 мкФ каждый.

9. Определим напряжение на портах МПУ при включенном ГВЧИ и подключенных широкополосных фильтров. Осциллограммы напряжений представлены на рисунке 2.11.



— - синфазная помеха

— - противофазная помеха

$$U_{\text{противофазное гвч}} = 111 \text{ мВ} ; U_{\text{синфазное гвч}} = 49,7 \text{ мВ}$$

Рисунок 2.11 – Напряжение на портах МПУ при включенном ГВЧИ и подключенных широкополосных фильтрах

10. Определим коэффициенты передачи противофазной и синфазной помех по формулам (2.3),(2.4):

$$K_{\text{пр.п}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{противофазное гвч}} - U_{\text{противофазное ХХ}}} = \frac{4,883 - 1,069}{0,111 - 0,03841} = 52,5;$$

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{синфазное гвч}} - U_{\text{синфазное ХХ}}} = \frac{4,883 - 1,069}{0,0497 - 0,03548} = 268,2$$

11. Определим реальное напряжение противофазной и синфазной помех на портах МПУ ОРУ 110кВ по формуле (2.5):

$$U_{\text{пр.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.п}}} = \frac{1 \cdot 14,67}{52,5} = 279,4 \text{ В};$$

$$U_{\text{син.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.с}}} = \frac{1 \cdot 14,67}{268,2} = 54,7 \text{ В}$$

12. Сравним реальное напряжение противофазной и синфазной помех с допустимым напряжением для 3 степени жесткости испытаний на помехоустойчивость МПУ:

$$279,4 \text{ В} < 2,5 \text{ кВ}$$

$$54,7 \text{ В} < 1 \text{ кВ}$$

Вывод - напряжение на входе МПУ ниже допустимого, следовательно, помехоустойчивость МПУ в пределах нормы.

Проведем расчеты синфазной и противофазной помех для ОРУ 220 кВ.

1. С помощью виртуального осциллографа определяем напряжения между корпусом оборудования и потенциальным электродом в режиме холостого хода при выключенном ГВЧИ. Осциллограмма напряжения представлена на рисунке 2.12. Амплитудное значение напряжения составило 1,096 В

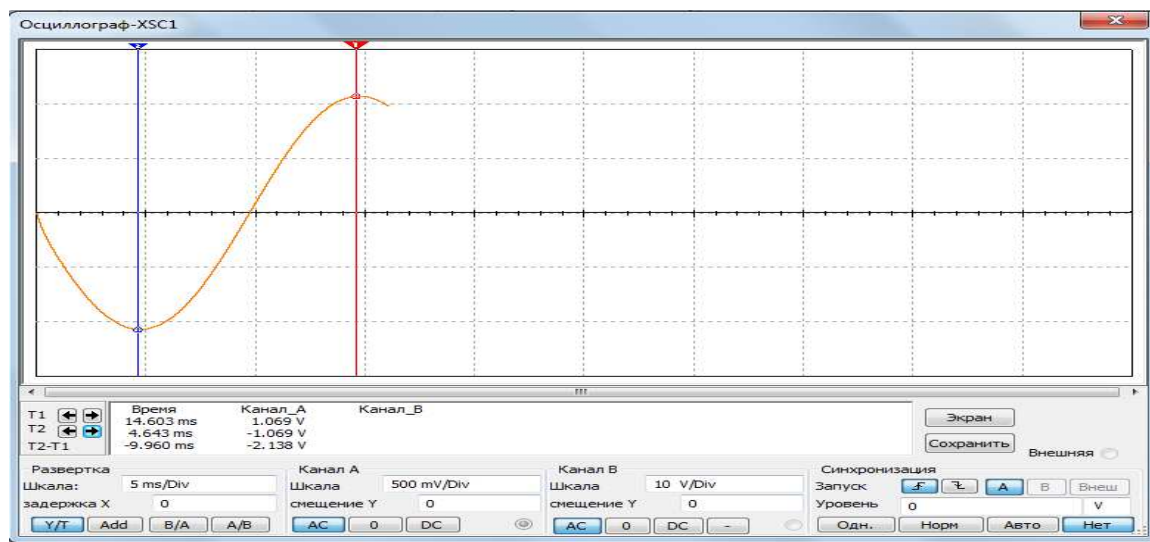


Рисунок 2.12 – Напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в режиме холостого хода

2. Определим напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в аварийном режиме при включенном ГВЧИ. Осциллограмма напряжения представлена на рисунке 2.13. Амплитудное значение напряжения составило 4,883 В.

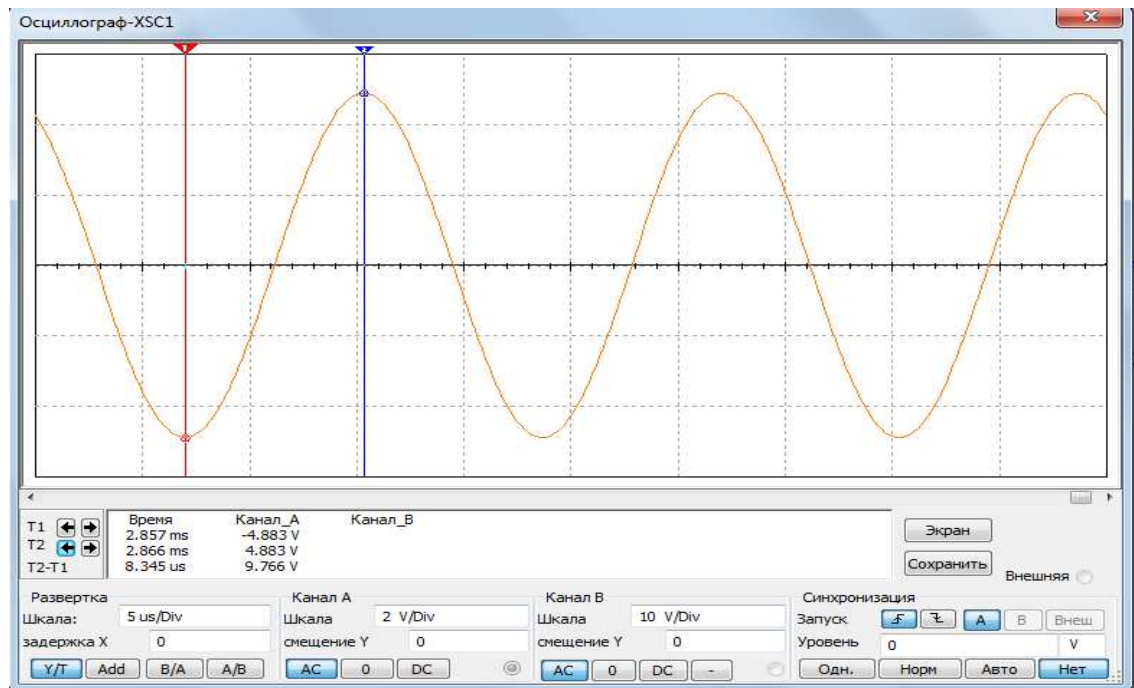
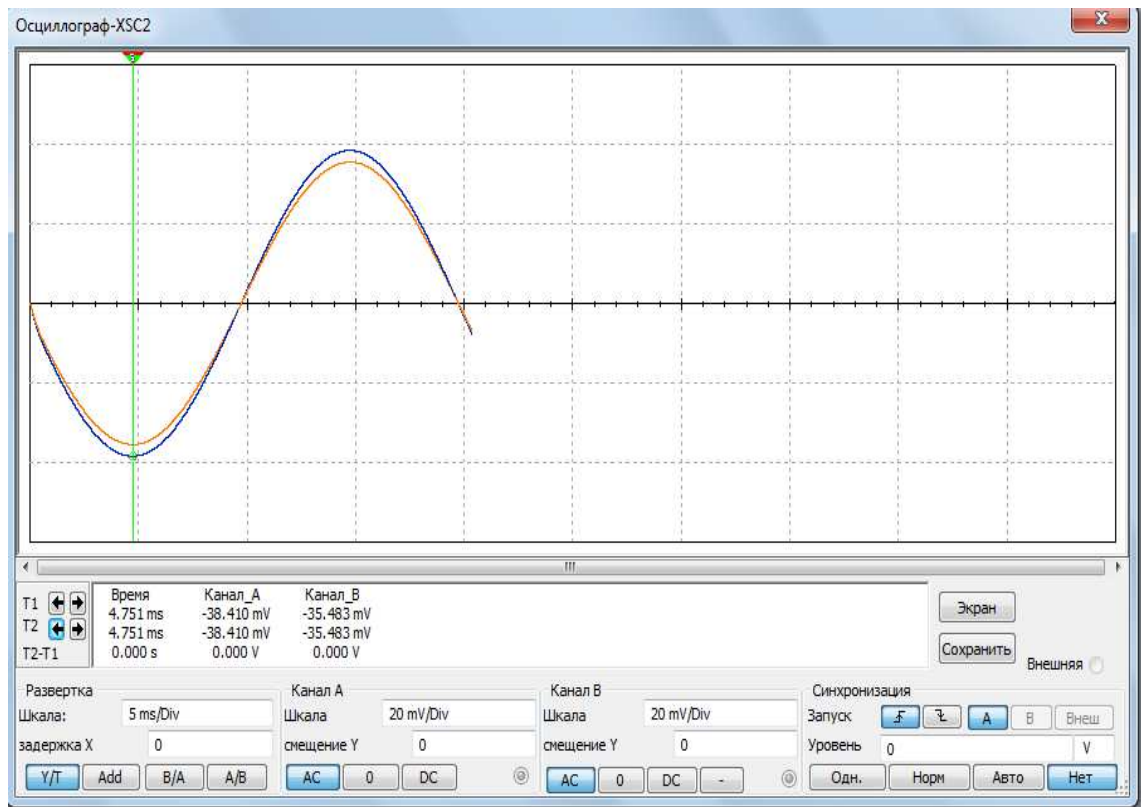


Рисунок 2.13 – Напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в аварийном режиме

3. Определим импульсное сопротивление оборудования по формуле (2.1):

$$Z_{\text{имп.обор.}} = \frac{U_{\text{заз.обор}}}{I_{\text{ГВЧИ}}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{I_{\text{ГВЧИ}}} = \frac{4,883 - 1,069}{0,26} = 14,67 \text{ Ом}$$

4. Определим напряжение на портах МПУ в режиме холостого хода при выключенном ГВЧИ. Осциллограммы напряжений представлены на рисунке 2.14.



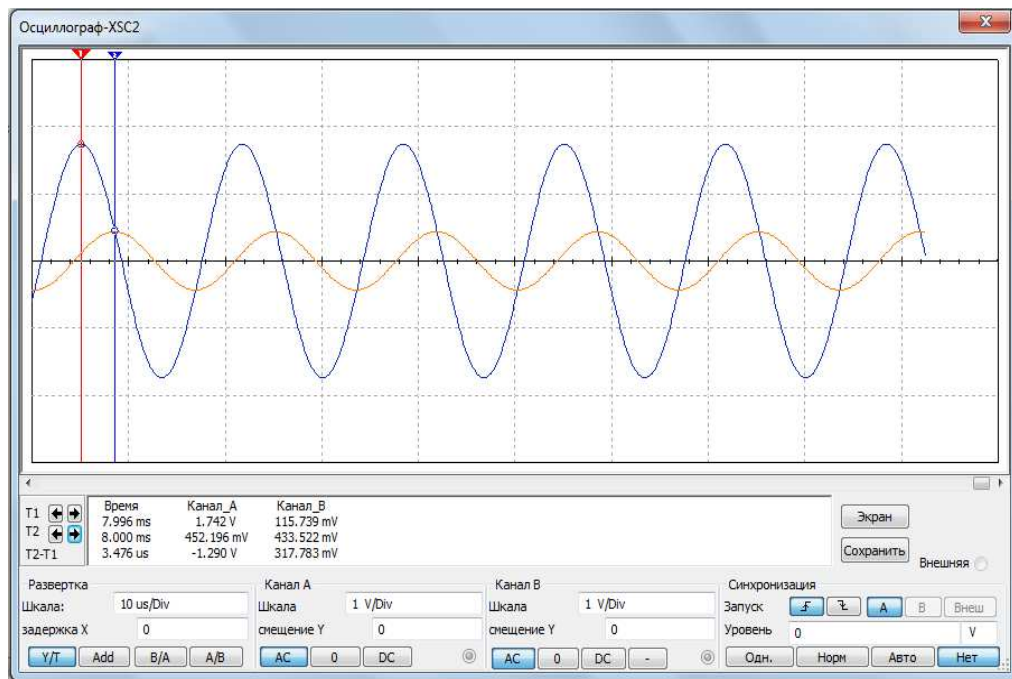
— - синфазная помеха

— - противофазная помеха

$$U_{\text{противофазное}} = 38,41 \text{ мВ} ; U_{\text{синфазное}} = 35,483 \text{ мВ}$$

Рисунок 2.14 – Напряжение на портах МПУ в режиме холостого хода

5. Определим напряжение на портах МПУ в аварийном режиме при включенном ГВЧИ. Осциллограммы напряжений представлены на рисунке 2.15.



— - синфазная помеха

— - противофазная помеха

$$U_{\text{противофазное гвч}} = 1,742 \text{ В} ; U_{\text{синфазное гвч}} = 0,452 \text{ В}$$

Рисунок 2.15 – Напряжение на портах МПУ в аварийном режиме

6. Определим коэффициенты передачи противофазной и синфазной помех по формулам (2.3),(2.4):

$$K_{\text{пр.п}} = \frac{U_{\text{гвч}} - U_{\text{хх}}}{U_{\text{противофазное гвч}} - U_{\text{противофазное хх}}} = \frac{4,883 - 1,069}{1,742 - 0,03841} = 2,24;$$

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{U_{\text{гвч}} - U_{\text{хх}}}{U_{\text{синфазное гвч}} - U_{\text{синфазное хх}}} = \frac{4,883 - 1,069}{0,452 - 0,03548} = 9,2$$

7. Определим реальное напряжение противофазной и синфазной помех на портах МПУ ОРУ 220кВ по формуле (2.5):

$$U_{\text{пр.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.п}}} = \frac{2 \cdot 14,67}{2,24} = 13,1 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{син.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.с}}} = \frac{2 \cdot 14,67}{9,2} = 3,2 \text{ кВ}$$

8. Сравним реальное напряжение противофазной и синфазной помех с допустимым напряжением для 3 степени жесткости испытаний на помехоустойчивость МПУ:

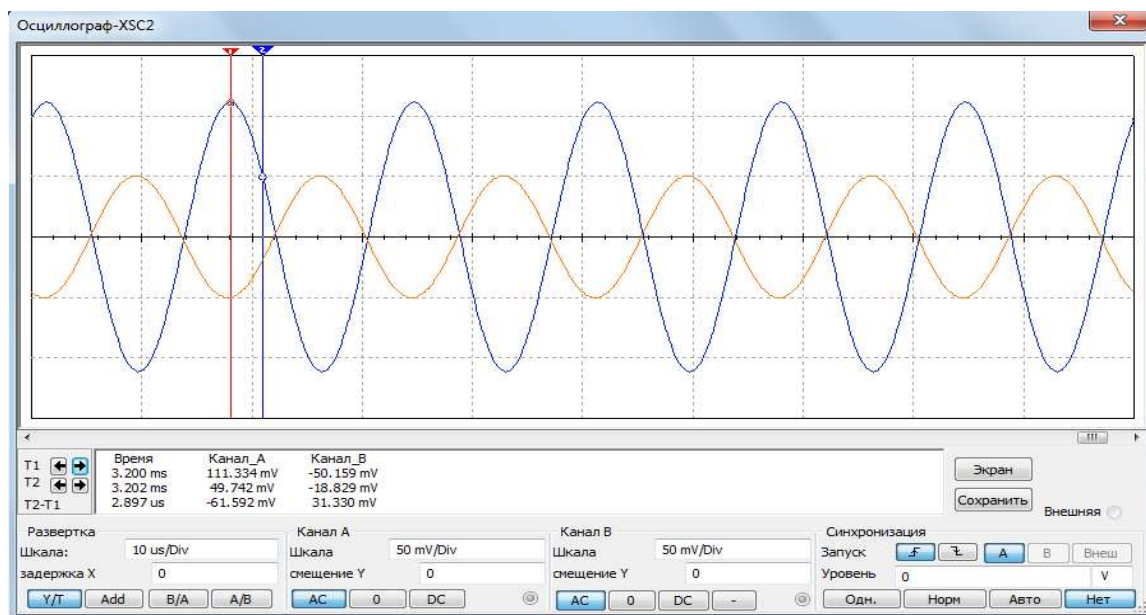
$$13,1 \text{ кВ} > 2,5 \text{ кВ};$$

$$3,2 \text{ кВ} > 1 \text{ кВ}$$

Вывод – напряжение на входе МПУ выше допустимого, следовательно, необходимо применять меры по снижению уровня электромагнитных помех на портах МПУ.

Для снижения воздействий электромагнитных помех на порты МПУ используем широкополосные фильтры.

9. Определим напряжение на портах МПУ при включенном ГВЧИ и подключенных широкополосных фильтров. Осциллограммы напряжений представлены на рисунке 2.16.



— - синфазная помеха

— - противофазная помеха

$$U_{\text{противофазное гвч}} = 111 \text{ мВ} ; U_{\text{синфазное гвч}} = 49,7 \text{ мВ}$$

Рисунок 2.16 – Напряжение на портах МПУ при включенном ГВЧИ и подключенных широкополосных фильтрах

10. Определим коэффициенты передачи противофазной и синфазной помех по формулам (2.3),(2.4):

$$K_{\text{пр.п}} = \frac{U_{\text{гвч}} - U_{\text{хх}}}{U_{\text{противофазное гвч}} - U_{\text{противофазное хх}}} = \frac{4,883 - 1,069}{0,111 - 0,03841} = 52,5;$$

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{U_{\text{гвч}} - U_{\text{хх}}}{U_{\text{синфазное гвч}} - U_{\text{синфазное хх}}} = \frac{4,883 - 1,069}{0,0497 - 0,03548} = 268,2$$

11. Определим реальное напряжение противофазной и синфазной помех на портах МПУ ОРУ 220кВ по формуле (2.5):

$$U_{\text{пр.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.п}}} = \frac{2 \cdot 14,67}{52,5} = 558,8 \text{ В};$$

$$U_{\text{син.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.с}}} = \frac{2 \cdot 14,67}{268,2} = 109,4 \text{ В}$$

12. Сравним реальное напряжение противофазной и синфазной помех с допустимым напряжением для 3 степени жесткости испытаний на помехоустойчивость МПУ:

$$558,8 \text{ В} < 2,5 \text{ кВ}$$

$$109,4 \text{ В} < 1 \text{ кВ}$$

Вывод – напряжение на входе МПУ ниже допустимого, следовательно, помехоустойчивость МПУ в пределах нормы.

В ходе апробации виртуальной схемы стенда были получены данные, полностью удовлетворяющие принятым критериям: синфазная помеха меньше противофазной в 3,85 раза. При работе с виртуальной схемой стенда были получены положительные результаты использования широкополосных фильтров для эффективного ограничения синфазных и противофазных помех. Представлены расчеты реальных значений синфазной и противофазной помех для ОРУ 110 кВ и ОРУ 220 кВ, которые наглядно показывают необходимость использования широкополосных фильтров. Следовательно, можно приступить к следующему этапу разработки стенда по оценке воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работу МПУ.

3 Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда

3.1 Разработка дизайна и конструкции стенда

Габариты стенда были приняты исходя из существующих стендов, которые используются в лабораториях на кафедре ЭГМП. Габариты стенда представлены на рисунке 3.1.

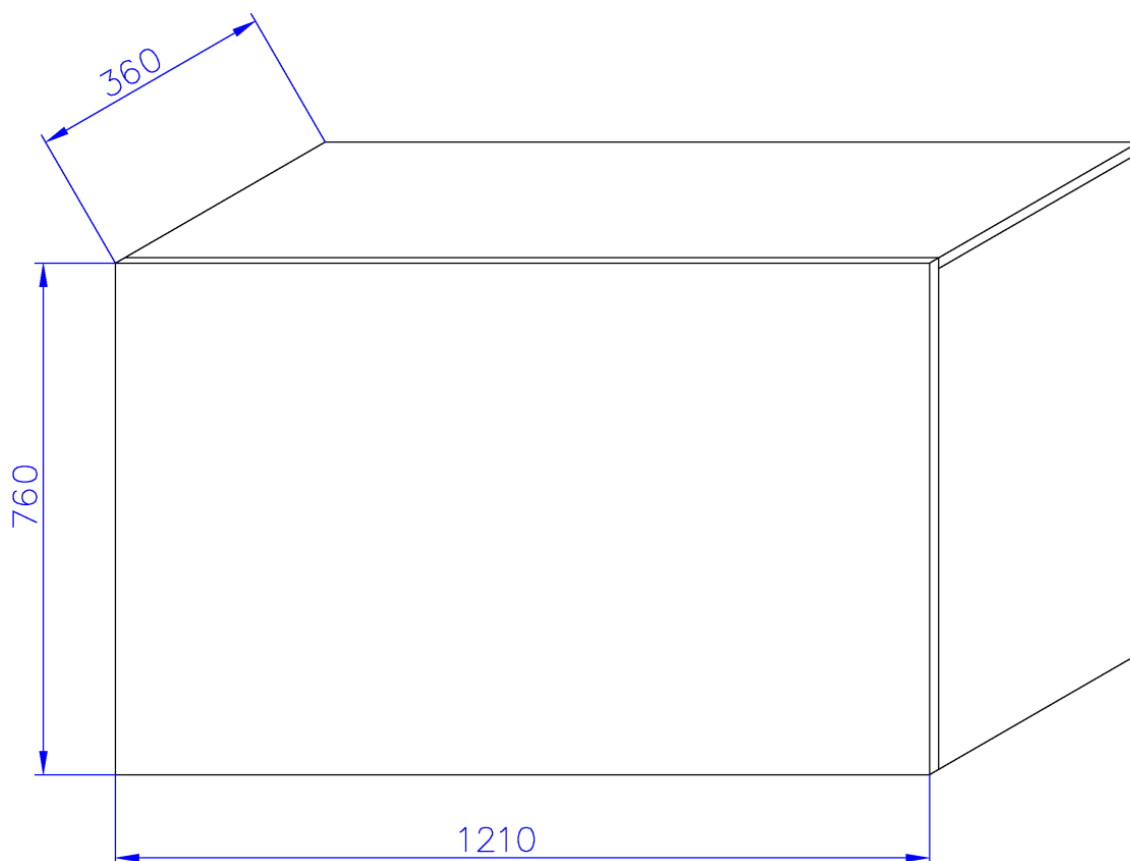


Рисунок 3.1 – Габариты лабораторного стенда

Корпус лабораторного стенда собран из листов ЛДСП белого цвета толщиной 16 мм, скрепленных шурупами. Внешний вид корпуса стенда представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Внешний вид корпуса лабораторного стенда

Лицевая часть стенда должна отражать определенные элементы подстанции, в частности исследуемый объект, контуры заземления и места расположения микропроцессорных устройств (МПУ). В ходе объекта исследования был принят автоматический выключатель (QF). МПУ расположено в оперативном пункте управления (ОПУ). Контрольные кабели между выключателем и ОПУ проложены в железобетонных кабельных каналах. На рисунке 3.3 показан эскиз лицевой части стенда.

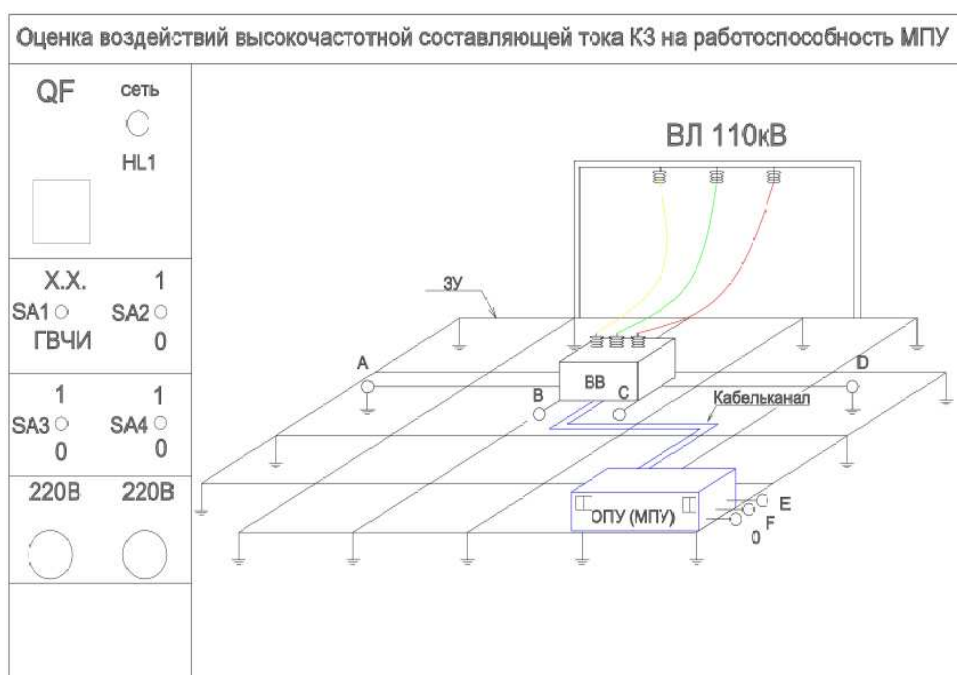


Рисунок 3.3 – Эскиз лицевой части стенда

Эскиз лицевой части был напечатан на самоклеящейся бумаге, а все необходимые элементы установлены на места, согласно эскизу на рисунке 3.3. На рисунке 3.4 приведен внешний вид лабораторного стенда по оценке воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работу МПУ.

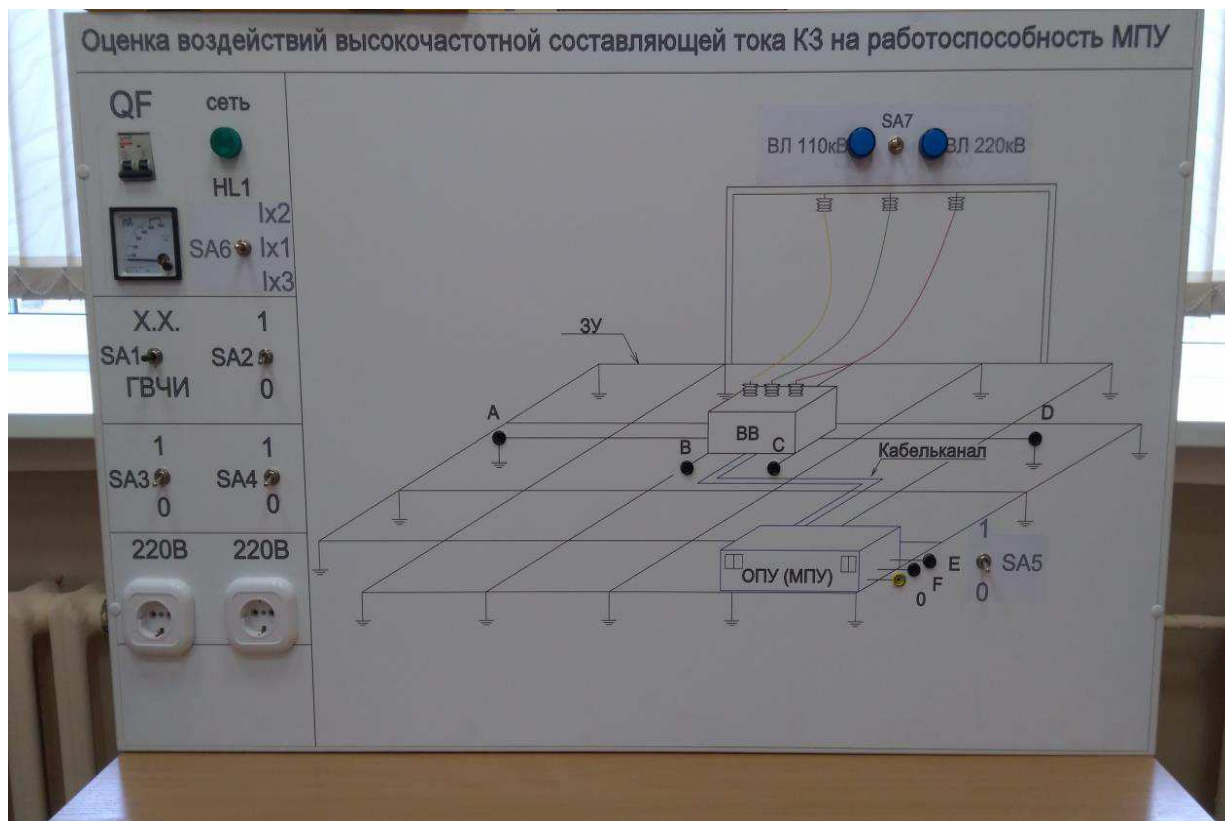


Рисунок 3.4 – Внешний вид лабораторного стенда по оценке воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работу МПУ

3.2 Выбор рабочего напряжения

Для функционирования лабораторного стенда принимаем два рабочих напряжения. 220 В – для подключения измерительных приборов. 12 В – для работы с лицевой панелью стенда, что обеспечивает полную электробезопасность при прикосновении к клеммам стенда. Электрические параметры стенда приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Электрические параметры стенда

| Рабочее напряжение Ураб, В | Максимальный ток I_{\max} , А | Максимальная мощность P_{\max} , Вт | Коэффициент мощности $\cos\varphi$ |
|-------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| 220/12 | 3 | 660 | 1 |

Автоматический выключатель выбираем исходя из следующих параметров:

$$1. U_{\text{выкл}} = U_{\text{н.ст.}}$$

$$2. I_{\text{н.расц.}} > 1,15I_{\text{н.ст.}}$$

$$3. I_{\text{откл.сп.}} > I_{\text{кз max}}$$

$$I_{\text{кз max}} = I_{\text{кз}}^{(1)} = 2,2 \text{ кА}$$

Для защиты оборудования, питающегося от напряжения 220 В, от токов КЗ принимаем автоматический выключатель ВА 47-63. Параметры автоматического выключателя приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры выключателя

| Тип выключателя | Номинальное напряжение $U_{\text{н}}$, В | Номинальный ток расцепителя $I_{\text{н}}$, А | Номинальная отключающая способность $I_{\text{сп}}$, кА |
|-----------------|---|--|--|
| ВА 47-63 | 220 | 6 | 4,5 |

С помощью амперметра измерим ток в цепи 12 В. Ток составляет 0,26 А. Для защиты оборудования, питающегося от напряжения 12В, используем плавкий предохранитель ПН-2 с номинальным током плавкой вставки 0,5 А.

3.3 Разработка монтажной схемы

Монтажная схема представленная на рисунке 3.5, составлена на основании электрической схемы стенда в среде Multisim (Рисунок 2.4).

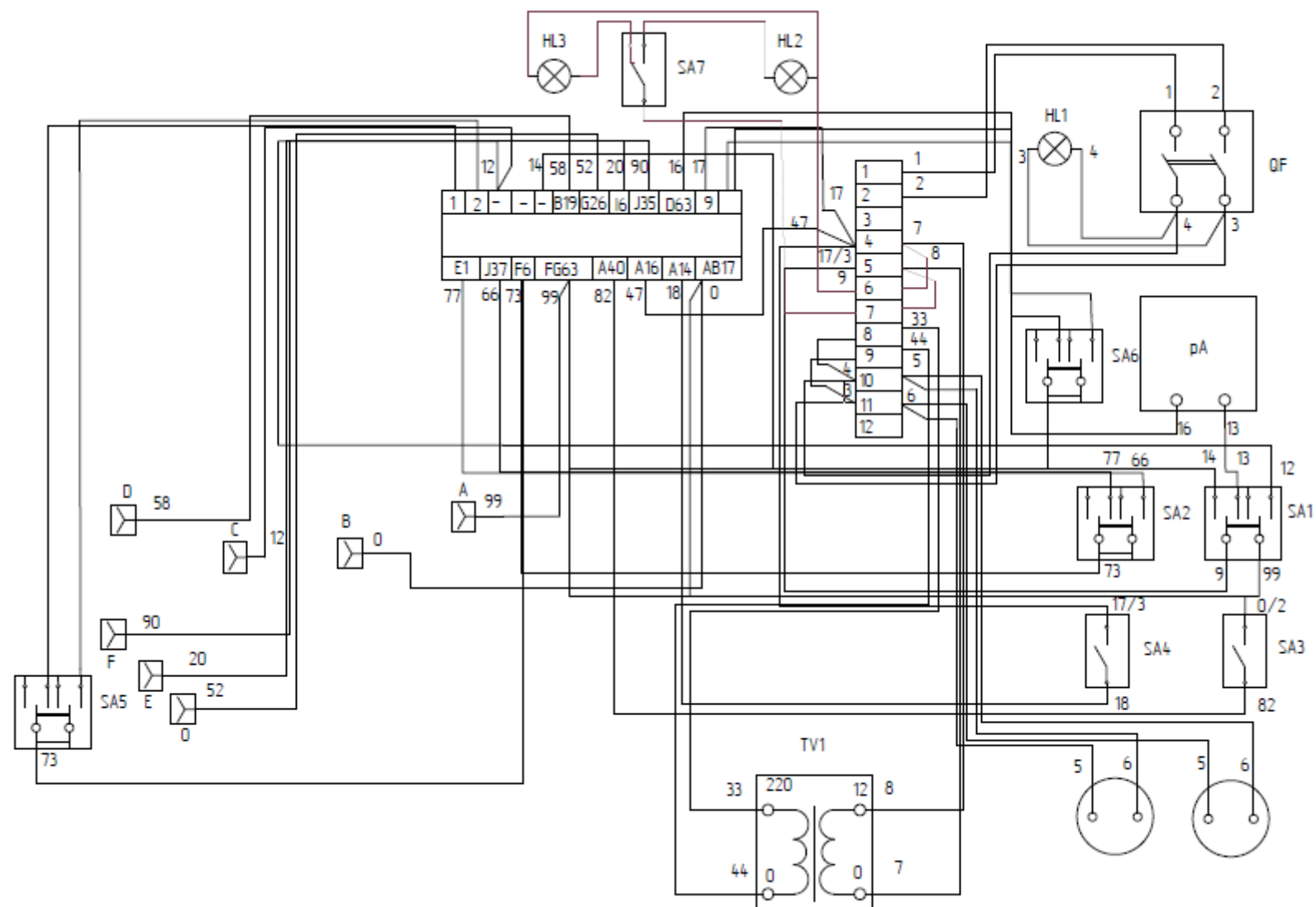


Рисунок 3.5 – Монтажная схема

3.4 Выбор необходимых измерительных приборов и оборудования

Амперметр выбран исходя из теоретических значений силы тока в цепи, полученных в ходе моделирования в среде Multisim 12.0.

Аналоговый амперметр CG -72 ток 1А, класс точности 2,5, прямого включения



Рисунок 3.6 – Внешний вид амперметра

Осциллограф Fluke 196C : полоса пропускания при сопряжении по переменному току 100 МГц, частота дискретизации в реальном масштабе времени 1 ГГц/с

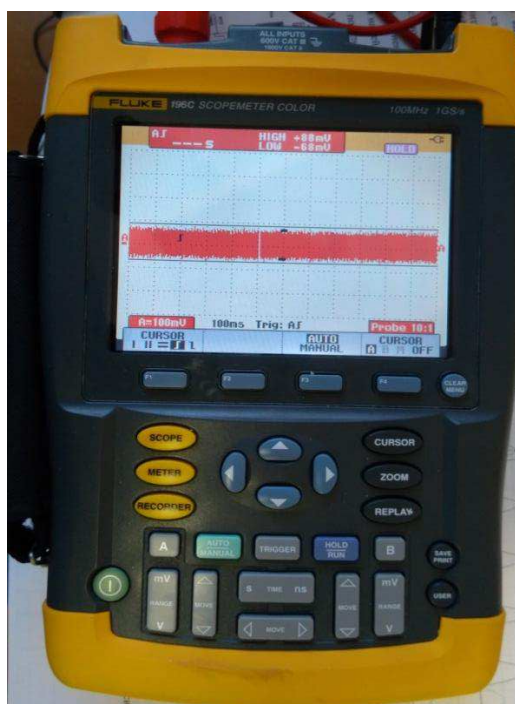


Рисунок 3.7 – Осциллограф Fluke 196C

Таблица 3.3 – Технические характеристики Fluke 196C

| Характеристики | | | Параметры |
|--------------------------------------|--------------------------|--|--|
| Частота дискретизации | | | 1 ГГц (Fluke 196) |
| Память | | | 1000 точек/канал, 27500 точек/канал на вход (при использовании режима записи осциллограммы ScopeRecord) |
| Разрешение по вертикали | | | 8 бит |
| Количество каналов | | | 2 |
| Вертикальное отклонение | Полоса пропускания | | 0 – 100 МГц (Fluke 196) |
| | Коэф. отклонения | | 5 мВ/дел – 100 В/дел |
| | Погрешность | | ± 1,5% |
| | Время нарастания ПХ | | < 3,5 нс (Fluke 196) |
| | Входной импеданс | | 1 МОм/15 пФ |
| | Макс. входное напряжение | | 300 В, 600 В (с делителем 1:10) |
| Горизонтальное отклонение | Коэф. развертки | | 5 нс/дел – 5 с/дел (Fluke 196/199) |
| | Погрешность | | ± 0,01% |
| Синхронизация | Источники синхронизации | | Каналы 1, 2, внешний |
| | Режимы синхронизации | | Автоматический Нормальный Однократный По видеосигналу По уровню По длительности импульса Задержанная |
| Дополнительные функции | | | |
| Курсорные и автоматические измерения | Мультиметр | Постоянное напряжение | 0,1 мВ – 1000 В |
| | | Погрешность измерения | ± 0,5% |
| | | Переменное напряжение | 0,1 мВ – 1000 В |
| | | Диапазон частот | 0 – 1 кГц |
| | | Погрешность измерения | ± 1% |
| | | Сопротивление | 0,1 Ом – 30 МОм |
| | | Погрешность измерения | ± 0,6% |
| | | Прозвонка | |
| | | Тест диодов | |
| | | Измерение силы тока и температуры (с опциональными пробниками) | |

Окончание таблицы 3.3

| Характеристики | | Параметры |
|----------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Общие характеристики | Индикация | 3,5 разряда |
| | Экран: ЖКИ | диагональ 105x79 мм |
| | Интерфейс | RS-232 |
| | Питание | Ni-MH батарея, время работы 4 часа |
| | Диапазон рабочих температур | 00C ..+500C |
| | Габаритные размеры | 256x169x64 мм |
| | Масса | 2 кг |

Двухканальный генератор сигналов прямого цифрового синтеза MHS-5200P 25, 0-6МГц 20В 15Вт



Рисунок 3.8 – Двухканальный генератор сигналов прямого цифрового синтеза MHS-5200P 25

Таблица 3.4 – Технические характеристики двухканального генератора сигналов прямого цифрового синтеза серии MHS-5200P 25

| Объект | | Параметры | |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--|
| Основные характеристики | Частотный диапазон | Синусоида | Режим: MHS-5200-06M: 0Гц ~ 6МГц; MHS-5200-12M: 0Гц ~ 12МГц; MHS-5200-20M: 0Гц ~ 20МГц; MHS-5200-25M: 0Гц ~ 25МГц- |
| | | Меандр | 0Гц ~ 6МГц |
| | | Треугольник | 0Гц ~ 6МГц |
| | | Пилообразный | 0Гц ~ 6МГц |
| | | Произвольной формы | 0Гц ~ 6МГц |
| | | TTL-цифровой | 0Гц ~ 6МГц |
| | | | 0Гц ~ 6МГц |

Продолжение таблицы 3.4

| Объект | | Параметры |
|-----------|-----------------------------------|---|
| | Модуляция | Частотная развертка |
| | Типы сигналов | Синус, прямоугольник, треугольник, пилообразный, TTL- цифровой сигнал, Arb - группы произвольных сигналов |
| | Длина волны | 2048 точек |
| | Частота дискретизации | 200МВ/с |
| | Разрешение по амплитуде сигнала | 12 бит |
| | Минимальное разрешение по частоте | 10МГц |
| | Погрешность частоты | $\pm 1 \times 10^{-6}$ |
| | Стабильность частоты | 5мВ (размах) ~ 20В (размах) (12МГц и ниже) 5мВ (размах) ~ 15В (размах) (выше 12МГц) |
| | Диапазон амплитуды | 50Ом \pm 10% |
| | Выходное сопротивление | 1мВ (размах) (аттенюатор -20дБ) 10мВ (размах) (без аттенюатора) |
| | Разрешение по амплитуде | $\pm 0.5\%$ (За 5 часов) |
| | Нестабильность амплитуды | $\pm 1\% + 10\text{мВ}$ (На частоте 1КГц, 15В (размах)) |
| | Погрешность амплитуды | -120% ~ +120% (Коэффициент напряжения смещения и амплитуды сигнала) |
| | Диапазон смещения | 1% |
| | Разрешение по смещению | 0 ~ 359° |
| | Диапазон фазы | |
| | Разрешение по фазе | 1 |
| Синусоида | Вносимые гармоники | 40дБ (<1МГц), 35дБ (1МГц ~ 20МГц) |
| | Искажения | <0.8% (20Гц ~ 20КГц) |
| Меандр | Длительность фронта | <20нс |
| | Превышение | <10% |
| | Диапазон скважности | 0% ~ 99.9% |

Окончание таблицы 3.4

| Объект | | Параметры |
|----------------------------|--|--|
| Сигналы произвольной формы | Количество | 16 групп |
| | Количество памяти / групп | 1КБ /16 групп |
| Развертка | Режим развертки | Линейная, логарифмическая |
| | Время развертки | 1с ~ 999с |
| | Диапазон развертки | Определяется настройками параметров развертки |
| Внешние измерения | Диапазон частот | GATE-TIME=10с 0.1Гц ~ 60МГц GATE-TIME= 1с 1Гц ~ 60МГц GATE-TIME=0.1с 10Гц ~ 60МГц GATE-TIME=0.01с 100Гц ~ 60МГц |
| | Диапазон входных напряжений | 0.5В (размах) ~ 20 В (размах) |
| | Диапазон счета | 0 ~ 429 496 7295 |
| | Счет | Вручную |
| | Измерение длительности положительных и отрицательных импульсов | Разрешение 10нс, максимальная длительность 10с |
| | Периодические измерения | Разрешение 20нс, максимальная длительность 20с |
| | Измерение скважности | Разрешение 0.1%, диапазон измерения от 0.1% до 99.9% |
| | Выбор источника | 1. Вход Ext.IN (сигнал переменного тока), 2. Вход TTL_IN (цифровой сигнал) |
| Память | Память | 10 |
| | Расположение | M0 - M9 |
| Интерфейс | Интерфейс | Последовательный USB-интерфейс |
| | Скорость обмена | 57 600Бод |
| | Протокол | Полностью открытый, использующий командную строку |
| Источник питания | Постоянного тока | 5В, 1,5А |
| Размеры | Длина x ширина x высота | 180x190x71мм |
| Масса прибора | | 553г |

Спецификация приборов, устройств, комплектующих и расходных материалов, представлена в таблице 3.5.



Таблица 3.5 – Спецификация электрооборудования и расходных материалов

| Обозначение | Наименование | Тип или марка | Кол -во |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|---------|
| QF1 | Автоматический выключатель | ВА47-63 6А IEK | 1 |
| HLG1 | Индикаторная лампа 220 В | | 1 |
| A1 | Амперметр переменного тока | CG -72 | 1 |
| SA1, SA 2 | Тумблеры 3 позиц. | MTS-203 6 | 2 |
| SA3, SA 4 | Тумблеры 2 позиц. | MTS-102 | 2 |
| R6,R7,R8,R9, R4 | Резистор 510 Ом 0,25Вт | керамический | 5 |
| R3,R5 | Резистор 200 Ом 0,25Вт | керамический | 2 |
| R1,R2, , | Резистор 100 Ом 0,25 Вт | керамический | 2 |
| R13 | Резистор 100 Ом 10 Вт | керамический | 1 |
| R10,R11 | Резистор 5.1 Ом 0,5 Вт | керамический | 2 |
| R12 | Резистор 10 Ом 0,25 Вт | керамический | 1 |
| R14 | Резистор 6,8 кОм 0,25 Вт | керамический | 1 |
| C1, C3,C4 | Конденсатор 1 мкФ | керамический | 3 |
| C2 | Конденсатор 0,1 мкФ | керамический | 1 |
| C5, C6 | Конденсатор 4,7 мкФ | керамический | 2 |
| OSC | Осциллограф | Fluke 196C | 1 |
| TV | Трансформатор 220/12В | LS-A8594-PT- А | 1 |
| | Соединительные провода | ПВ-1 1,5мм ² | 10 |
| | Штепсельные разъемы | | 7 |
| | Розетка | PC16-635 | 2 |
| | Клеммная колодка | КЗВ | 1 |
| | Макетная плата | FR-4 | 1 |

3.5 Апробация реальной схемы стенда

1. Для подачи питания на стенд, необходимо включить автоматический выключатель QF, сигнальная лампа HL1 - загорается. Подключим блоки питания осциллографа Fluke 196с и ГВЧИ MHS-5200P к сети напряжением 220В с помощью штепсельных разъемов.

2. Для определения напряжения между корпусом оборудования, в роли которого выступает выключатель ВВ (точка С), и потенциальным электродом (точка D) в режиме холостого хода используем осциллограф Fluke 196с (U_{xx}). Для этого подключим щупы канала «А» осциллографа Fluke 196с в гнезда стенда (С) и (D) на его лицевой части. ГВЧИ – выключен.

Включаем тумблер SA1 в положение «XX», тумблер SA4 в положение «1». Включаем осциллограф нажатием клавиши «» затем нажимаем клавишу F4, чтобы закрыть информационное окно на экране. Далее для настройки курсора нажимаем клавишу «CURSOR». Многократным нажатием клавиши F1 выделим символ «». На экране появятся два горизонтальных курсора. Далее нажать клавишу «F3» и выбрать режим «AUTO». Зафиксируем осциллограмму нажатием кнопки «HOLD» (фиолетового цвета). Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения представлена на рисунке 3.1. Амплитудные значения напряжений составили 1,42 В и -1,34 В. Среднее значение составляет 1,38 В. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 переводим в нейтральное положение, тумблер SA4 в положение «0».

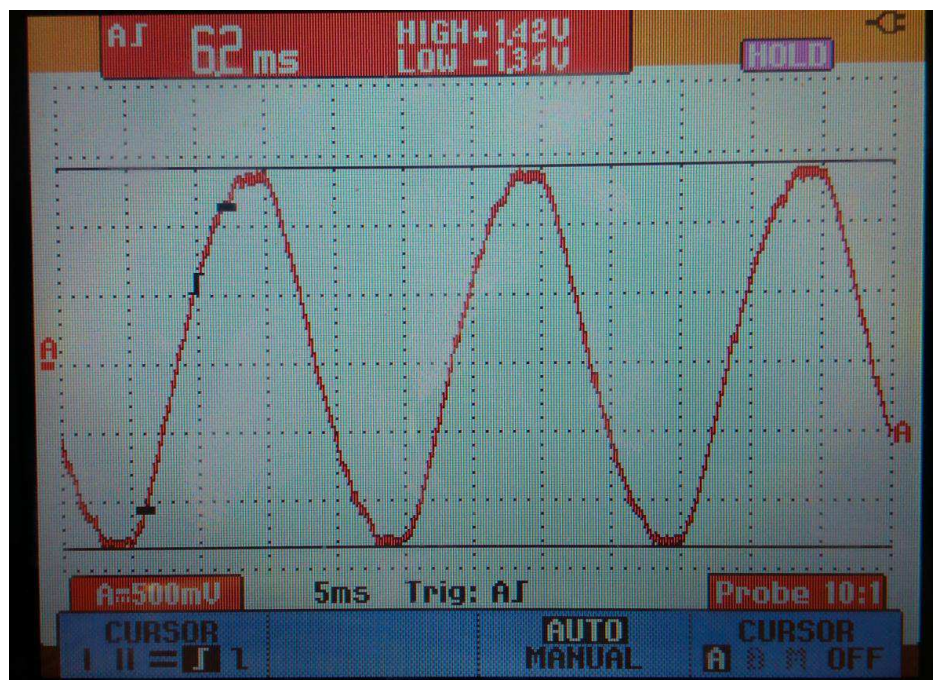


Рисунок 3.1 – Осциллограмма напряжения между корпусом оборудования и потенциальным электродом в безаварийном режиме

3. Определим напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в аварийном режиме при включенном ГВЧИ ($U_{ГВЧ}$). Для этого установим штекеры ГВЧИ в гнезда стенда (А) и (В). Затем включим ГВЧИ выключателем «POWER» на задней панели корпуса генератора. На передней панели генератора медленным вращением ручки энкодера «ADJUST» установим частоту выходного сигнала 60 кГц. Далее установим амплитуду выходного сигнала, для этого нажимаем кнопку «SHIFT», затем кнопку «AMPL». Для изменения размера шага амплитуды выходного сигнала перемещаем курсор «_» кнопкой «◀» в крайнее левое положение, затем вращением ручки энкодера «ADJUST» установим значение 20 В. Затем подаем высокочастотный сигнал с ГВЧИ. Для этого нажимаем кнопку «PgDn», после того, как на дисплее появилась надпись «POUT», нажимаем кнопку «OK».

На приборной панели стенда включаем тумблер SA1 в положение «ГВЧИ», тумблер SA3 в положение «1».

Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s, а вертикальной клавишей «MOVE» переместим синусоиду на центр экрана. Зафиксируем значение осциллограммы напряжения нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения в аварийном режиме представлена на рисунке 3.2. Амплитудные значения напряжений составили -2,00 В и -6,08 В. Среднее значение составляет 4,04 В.



Рисунок 3.2 – Осциллограмма напряжения между корпусом оборудования и потенциальным электродом в аварийном режиме

По окончании эксперимента для определения импульсного сопротивления оборудования зафиксируем значение тока ГВЧИ ($I_{ГВЧИ}$) с помощью амперметра, расположенного на приборной панели стенда, оно составляет 260 мА. Отключаем подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК» на лицевой панели генератора, тумблер SA3 переводим в положение «0», тумблер SA1 переводим в нейтральное положение. На осциллографе нажать клавишу «HOLD».

4. Определим импульсное сопротивление оборудования по формуле (2.1):

$$Z_{\text{имп.обор.}} = \frac{U_{\text{заз.обор.}}}{I_{ГВЧИ}} = \frac{U_{ГВЧ} - U_{XX}}{I_{ГВЧИ}} = \frac{4,04 - 1,38}{0,26} = 10,2 \text{ Ом}$$

5. Определим напряжение на портах МПУ в режиме холостого хода при выключенном ГВЧИ.

Для определения величины напряжения синфазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (E) и (F) (фаза-фаза). Тумблер SA1 включим в положение «XX». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 50 ns. Зафиксируем осциллограмму напряжения нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения синфазной помехи представлена на рисунке 3.3. Амплитудные значения напряжений составили 88 мВ и -16 мВ. Среднее значение составляет 52 мВ. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение.

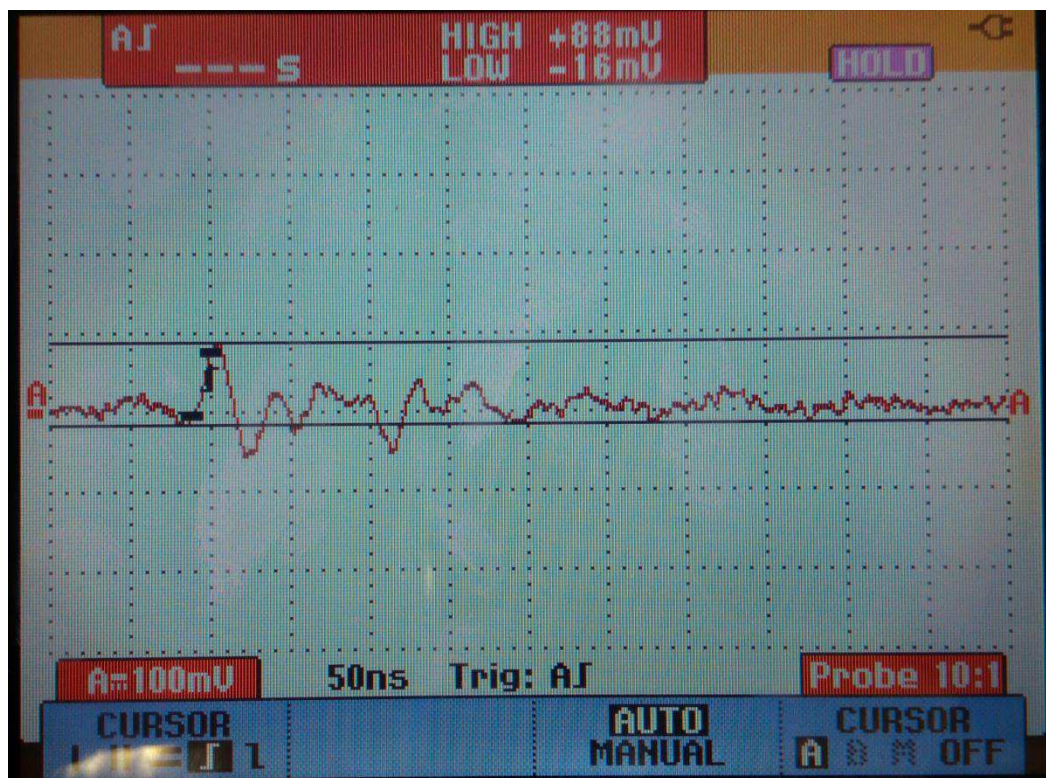


Рисунок 3.3 – Осциллограмма синфазного напряжения на МПУ в режиме холостого хода

Для определения величины напряжения противофазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (0) (фаза – ноль). Тумблер SA1 включим в положение «XX». Зафиксируем осциллограмму напряжения нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения противофазной помехи представлена на рисунке 3.4. Амплитудные значения напряжений составили 68 мВ и -72 мВ. Среднее значение составляет 70 мВ. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение.

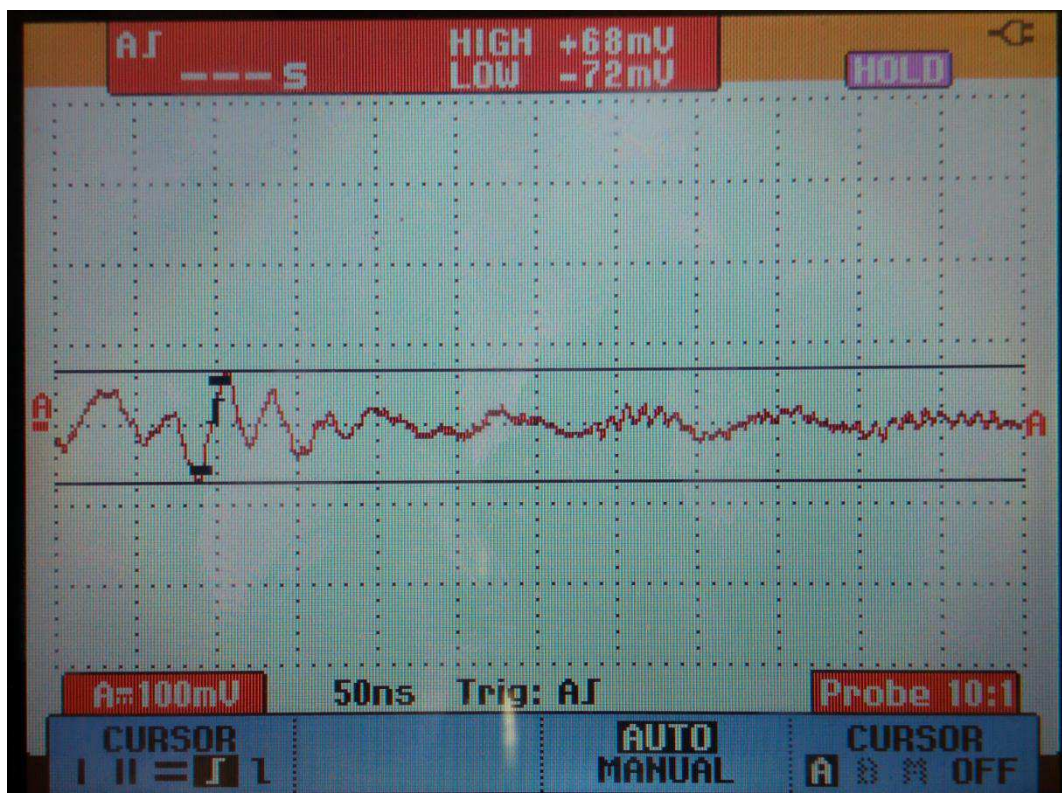


Рисунок 3.4 – Осциллограмма противофазного напряжения на МПУ в режиме холостого хода

6. Определим напряжение на портах МПУ в аварийном режиме при включенном ГВЧИ.

Для определения величины напряжения синфазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (F) (фаза – фаза). Подадим высокочастотный сигнал с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК». Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s. Зафиксируем осциллограмму напряжения нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения синфазной помехи представлена на рисунке 3.5. Амплитудные значения напряжений составили 2,68 В и -0,64 В. Среднее значение составляет 1,66 В. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение.

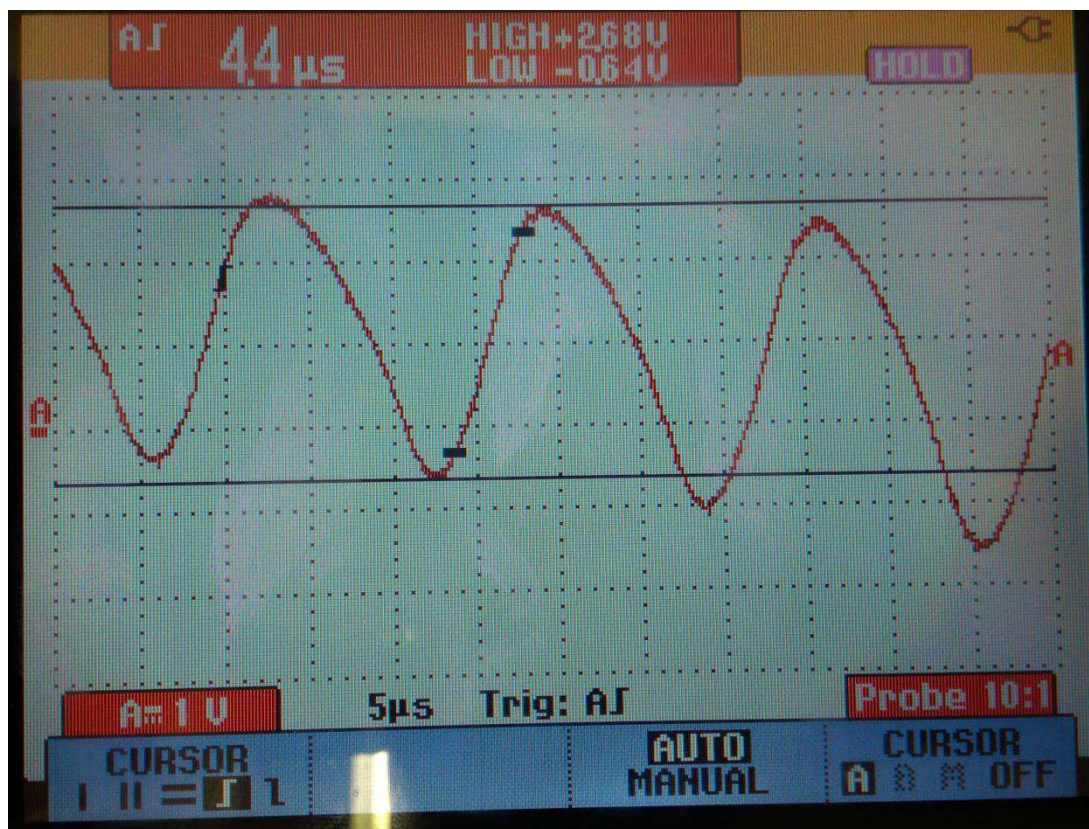


Рисунок 3.5 – Осциллограмма синфазного напряжения на портах МПУ в аварийном режиме

Для определения величины напряжения противофазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда (Е) и (0) (фаза – ноль). Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Зафиксируем осциллограмму напряжения нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения противофазной помехи представлена на рисунке 3.6. Амплитудные значения напряжений составили 9,2 В и -6,8 В. Среднее значение составляет 8 В. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение. Отключаем подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК» на лицевой панели.



Рисунок 3.6 – Осциллограмма противофазного напряжения на портах МПУ в аварийном режиме

7. Определим коэффициенты передачи противофазной и синфазной помех по формуле (2.2):

$$K_{\text{пр.п}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{противофазное ГВЧ}} - U_{\text{противофазное ХХ}}} = \frac{4,04 - 1,38}{8 - 0,07} = 0,34;$$

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{синфазное ГВЧ}} - U_{\text{синфазное ХХ}}} = \frac{4,04 - 1,38}{1,66 - 0,052} = 1,65$$

8. Определим реальное напряжение противофазной и синфазной помех на портах МПУ ОРУ 110кВ по формуле (2.3):

$$U_{\text{пр.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.п}}} = \frac{1 \cdot 10,2}{0,34} = 30 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{син.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{синф.п}}} = \frac{1 \cdot 10,2}{1,65} = 6,2 \text{ кВ}$$

9. Сравним реальное напряжение противофазной и синфазной помех с допустимым напряжением для 3 степени жесткости испытаний на помехоустойчивость МПУ:

$$30 \text{ кВ} > 2,5 \text{ кВ};$$

$$6,2 \text{ кВ} > 1 \text{ кВ}$$

Вывод - напряжение на входе МПУ выше допустимого, следовательно, необходимо применять меры по снижению уровня электромагнитных помех на портах МПУ.

10. Определим напряжение на портах МПУ при включенном ГВЧИ и подключенных широкополосных фильтров.

Для определения величины напряжения синфазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (F) (фаза – фаза). Подадим высокочастотный сигнал с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК». Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Тумблер SA5 включим в положение «1». Тумблер SA2 включим в положение «1». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s, а вертикальной клавишей «MOVE» переместим синусоиду на центр экрана. Зафиксируем осциллограмму нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения синфазной помехи представлена на рисунке 3.7. Амплитудные значения напряжений составили 120 мВ и -240 мВ. Среднее значение составляет 180 мВ.

По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение. Тумблер SA2 включим в положение «0». Отключим подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК» на лицевой панели.

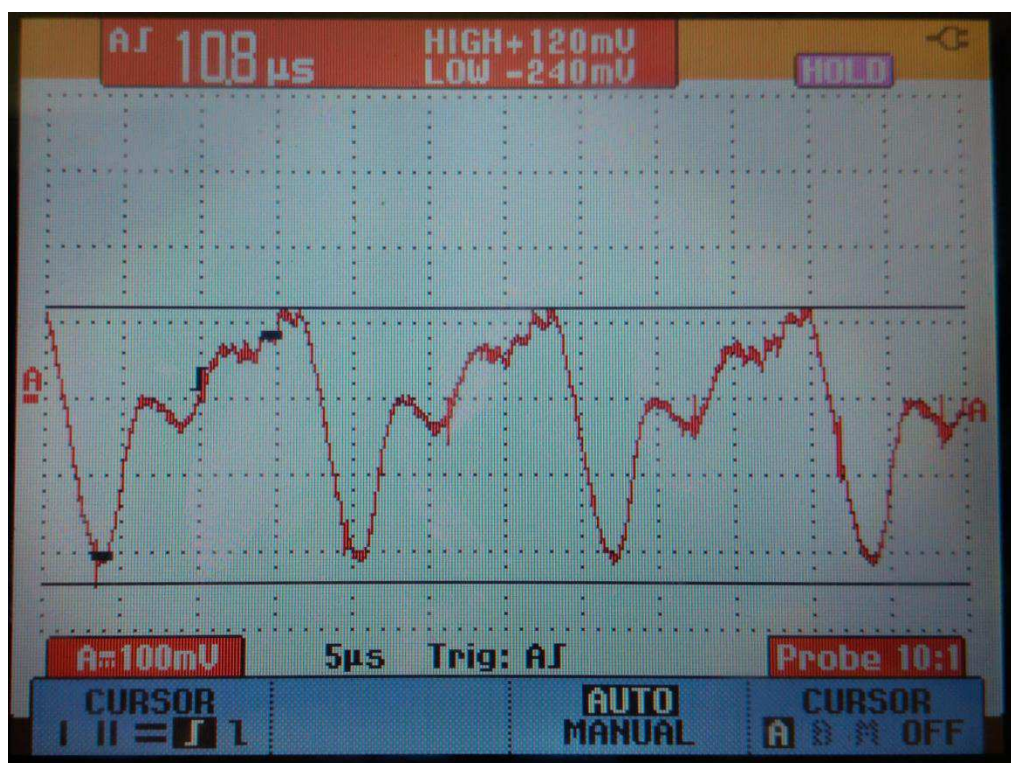



Рисунок 3.7 – Осциллограмма синфазного напряжения на портах МПУ в аварийном режиме

Для определения величины напряжения противофазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (0) (фаза – ноль). Подадим

высокочастотный сигнал с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК». Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Тумблер SA5 включим в положение «1». Тумблер SA2 включим в положение «1». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s, а клавишей «MOVE» переместим синусоиду на центр экрана. Зафиксируем осциллограмму нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения противофазной помехи представлена на рисунке 3.8. Амплитудные значения напряжений составили 164 мВ и -96 мВ. Среднее значение составляет 130 мВ.

По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение. Тумблер SA2 включим в положение «0». Отключаем подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК» на лицевой панели. Отключаем ГВЧИ с помощью выключателя «POWER» на задней панели генератора. Отключаем осциллограф нажатием клавиши «». Для отключения питания стенда, необходимо выключить автоматический выключатель QF, сигнальная лампа HL1 – не горит.

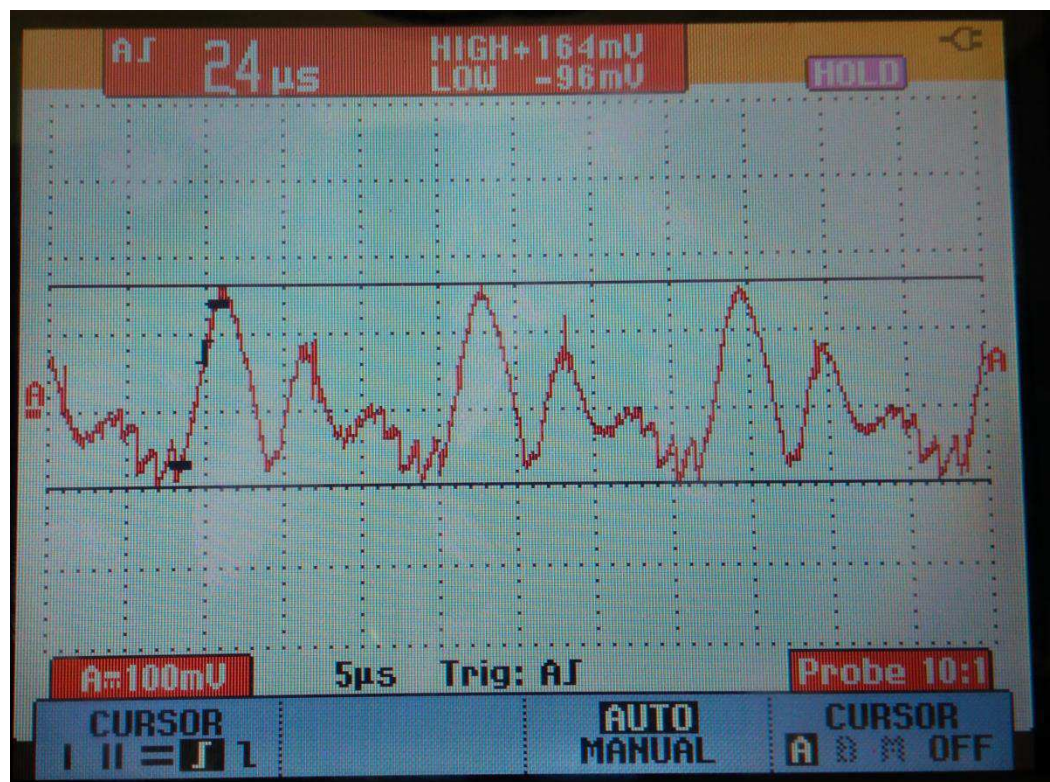


Рисунок 3.8 – Осциллограмма противофазного напряжения на портах МПУ в аварийном режиме

11. Определим коэффициенты передачи противофазной и синфазной помех по формуле (2.2):

$$K_{\text{пр.п}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{противофазное ГВЧ}} - U_{\text{противофазное ХХ}}} = \frac{4,52 - 1,39}{0,13 - 0,07} = 44,3;$$

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{синфазное ГВЧ}} - U_{\text{синфазное ХХ}}} = \frac{4,52 - 1,39}{0,18 - 0,052} = 20,8$$

12. Определим реальное напряжение противофазной и синфазной помех на портах МПУ ОРУ 110кВ по формуле (2.3):

$$U_{\text{пр.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.п}}} = \frac{1 \cdot 10,2}{44,3} = 230 \text{ В};$$

$$U_{\text{син.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{синф.п}}} = \frac{1 \cdot 10,2}{20,8} = 490 \text{ В}$$

13. Сравним реальное напряжение противофазной и синфазной помех с допустимым напряжением для 3 степени жесткости испытаний на помехоустойчивость МПУ:

$$230 \text{ В} < 2,5 \text{ кВ}$$


$$490 \text{ В} < 1 \text{ кВ}$$

Вывод - напряжение на входе МПУ ниже допустимого, следовательно, помехоустойчивость МПУ в пределах нормы.

Проведем расчеты синфазной и противофазной помех для ОРУ 220 кВ.

1. Для подачи питания на стенд, необходимо включить автоматический выключатель QF, сигнальная лампа HL1 - загорается. Подключим блоки питания осциллографа Fluke 196с и ГВЧИ MHS-5200P к сети напряжением 220В с помощью штепсельных разъемов.

2. Для определения напряжения между корпусом оборудования, в роли которого выступает выключатель ВВ (точка С), и потенциальным электродом (точка D) в режиме холостого хода используем осциллограф Fluke 196с ($U_{\text{ХХ}}$). Для этого подключим щупы канала «А» осциллографа Fluke 196с в гнезда стенда (С) и (D) на его лицевой части. ГВЧИ – выключен.

Включаем тумблер SA1 в положение «XX», тумблер SA4 в положение «1». Включаем осциллограф нажатием клавиши «» затем нажимаем клавишу F4, чтобы закрыть информационное окно на экране. Далее для настройки курсора нажимаем клавишу «CURSOR». Многократным нажатием клавиши F1 выделим символ «». На экране появятся два горизонтальных курсора. Далее нажать клавишу «F3» и выбрать режим «AUTO». Зафиксируем осциллограмму напряжения нажатием кнопки «HOLD» (фиолетового цвета). Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения представлена на рисунке 3.1. Амплитудные значения напряжений составили 1,42 В и -1,34 В. Среднее значение составляет 1,38 В. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем

клавишу «HOLD», тумблер SA1 переводим в нейтральное положение, тумблер SA4 в положение «0».

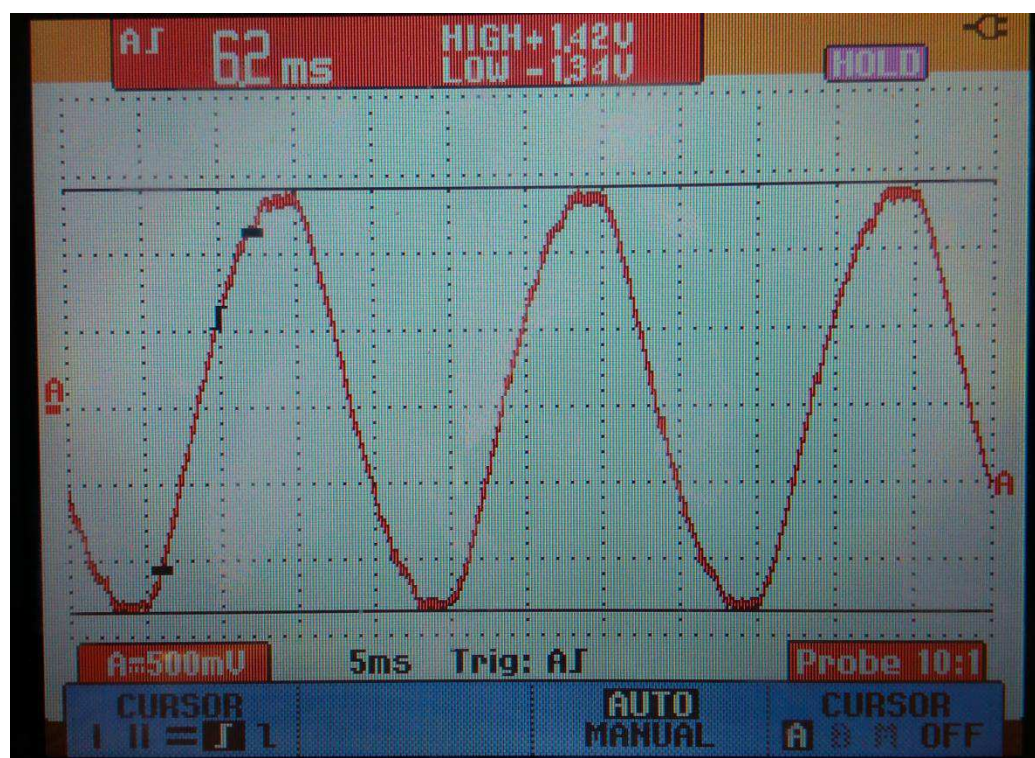


Рисунок 3.1 – Осциллограмма напряжения между корпусом оборудования и потенциальным электродом в безаварийном режиме

3. Определим напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в аварийном режиме при включенном ГВЧИ ($U_{ГВЧ}$). Для этого установим штекеры ГВЧИ в гнезда стенда (А) и (В). Затем включим ГВЧИ выключателем «POWER» на задней панели корпуса генератора. На передней панели генератора медленным вращением ручки энкодера «ADJUST» установим частоту выходного сигнала 60 кГц. Далее установим амплитуду выходного сигнала, для этого нажимаем кнопку «SHIFT», затем кнопку «AMPL». Для изменения размера шага амплитуды выходного сигнала перемещаем курсор «_» кнопкой «◀» в крайнее левое положение, затем вращением ручки энкодера «ADJUST» установим значение 20 В. Затем подаем высокочастотный сигнал с ГВЧИ. Для этого нажимаем кнопку «PgDn», после того, как на дисплее появилась надпись «POUT», нажимаем кнопку «OK».

На приборной панели стенда включаем тумблер SA1 в положение «ГВЧИ», тумблер SA3 в положение «1».

Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s, а вертикальной клавишей «MOVE» переместим синусоиду на центр экрана. Зафиксируем значение осциллограммы напряжения нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы.

Осциллограмма напряжения в аварийном режиме представлена на рисунке 3.2. Амплитудные значения напряжений составили -2,00 В и -6,08 В. Среднее значение составляет 4,04 В.



Рисунок 3.2 – Осциллограмма напряжения между корпусом оборудования и потенциальным электродом в аварийном режиме

По окончании эксперимента для определения импульсного сопротивления оборудования зафиксируем значение тока ГВЧИ ($I_{ГВЧИ}$) с помощью амперметра, расположенного на приборной панели стенда, оно составляет 260 мА. Отключаем подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК» на лицевой панели генератора, тумблер SA3 переводим в положение «0», тумблер SA1 переводим в нейтральное положение. На осциллографе нажать клавишу «HOLD».

4. Определим импульсное сопротивление оборудования по формуле (2.1):

$$Z_{\text{имп.обор.}} = \frac{U_{\text{заз.обор.}}}{I_{\text{ГВЧИ}}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{I_{\text{ГВЧИ}}} = \frac{4,04 - 1,38}{0,26} = 10,2 \text{ Ом}$$

5. Определим напряжение на портах МПУ в режиме холостого хода при выключенном ГВЧИ.

Для определения величины напряжения синфазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (F) (фаза-фаза). Тумблер SA1 включим в положение «XX». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 50 ns. Зафиксируем осциллограмму нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения синфазной помехи представлена на рисунке 3.3. Амплитудные значения напряжений составили 88 мВ и -16 мВ. Среднее значение составляет 52 мВ. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение.

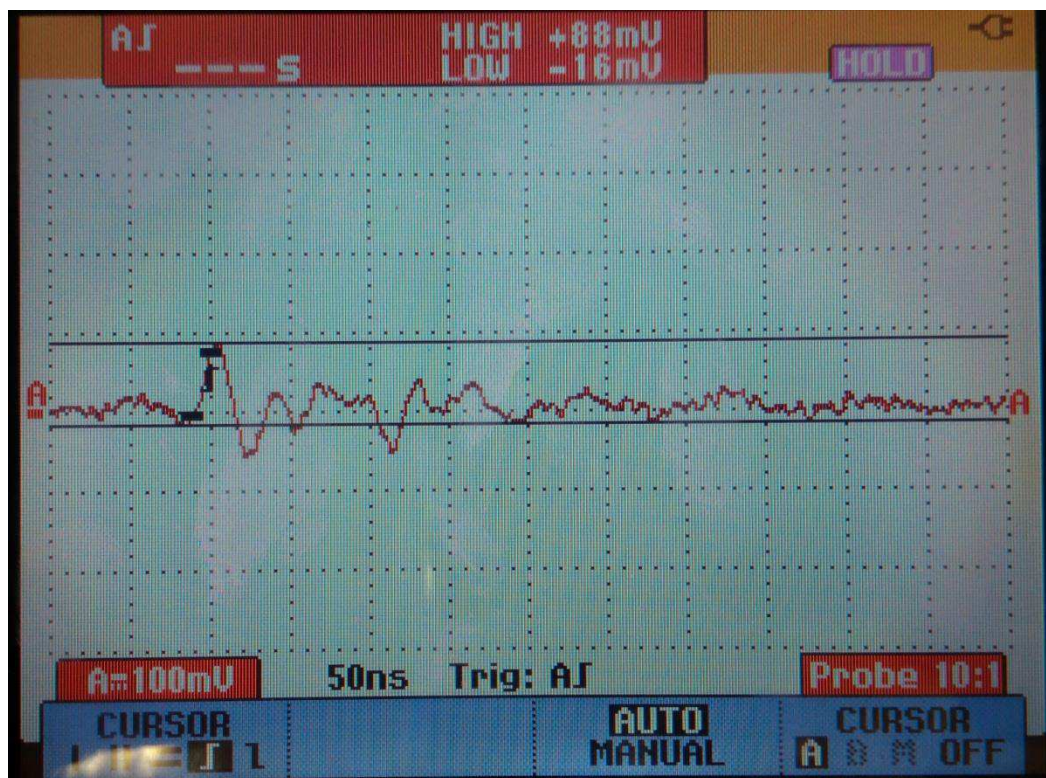


Рисунок 3.3 – Осциллограмма синфазного напряжения на МПУ в режиме холостого хода

Для определения величины напряжения противофазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (0) (фаза – ноль). Тумблер SA1 включим в положение «XX». Зафиксируем осциллограмму нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения противофазной помехи представлена на рисунке 3.4. Амплитудные значения напряжений составили 68 мВ и -72 мВ. Среднее значение составляет 70 мВ. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение.

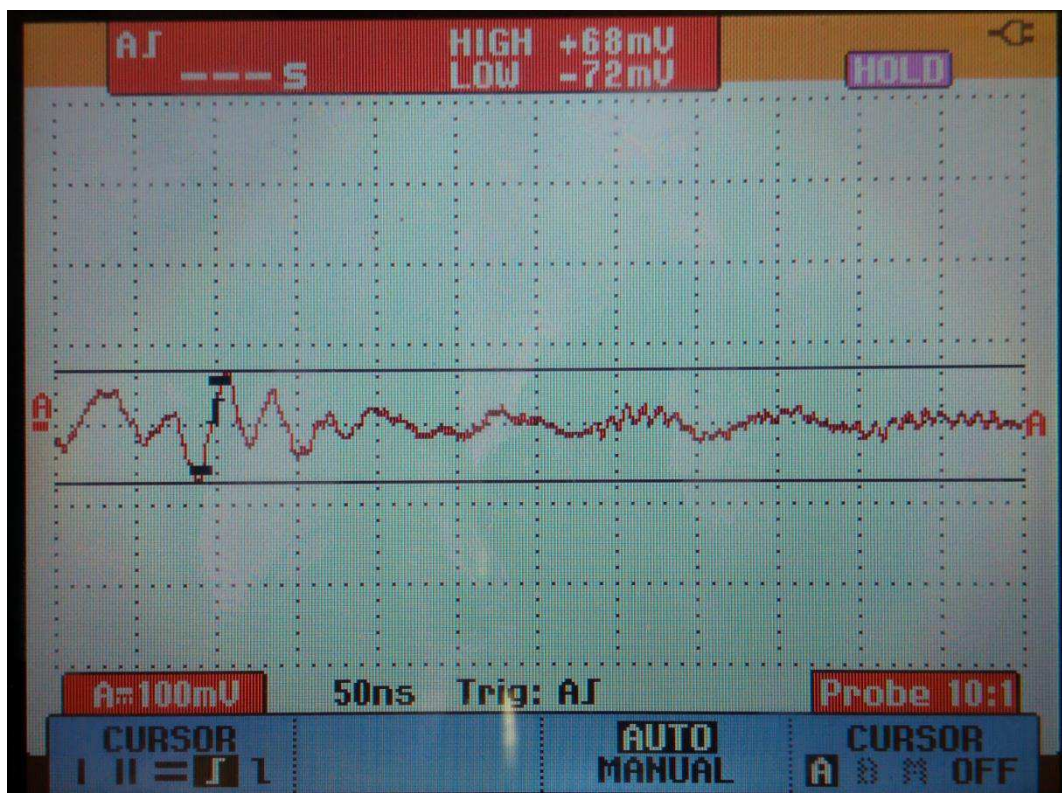


Рисунок 3.4 – Осциллограмма противофазного напряжения на МПУ в режиме холостого хода

6. Определим напряжение на портах МПУ в аварийном режиме при включенном ГВЧИ.

Для определения величины напряжения синфазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (F) (фаза – фаза). Подадим высокочастотный сигнал с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК». Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s. Зафиксируем осциллограмму напряжения нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения синфазной помехи представлена на рисунке 3.5. Амплитудные значения напряжений составили 2,68 В и -0,64 В. Среднее значение составляет 1,66 В. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение.

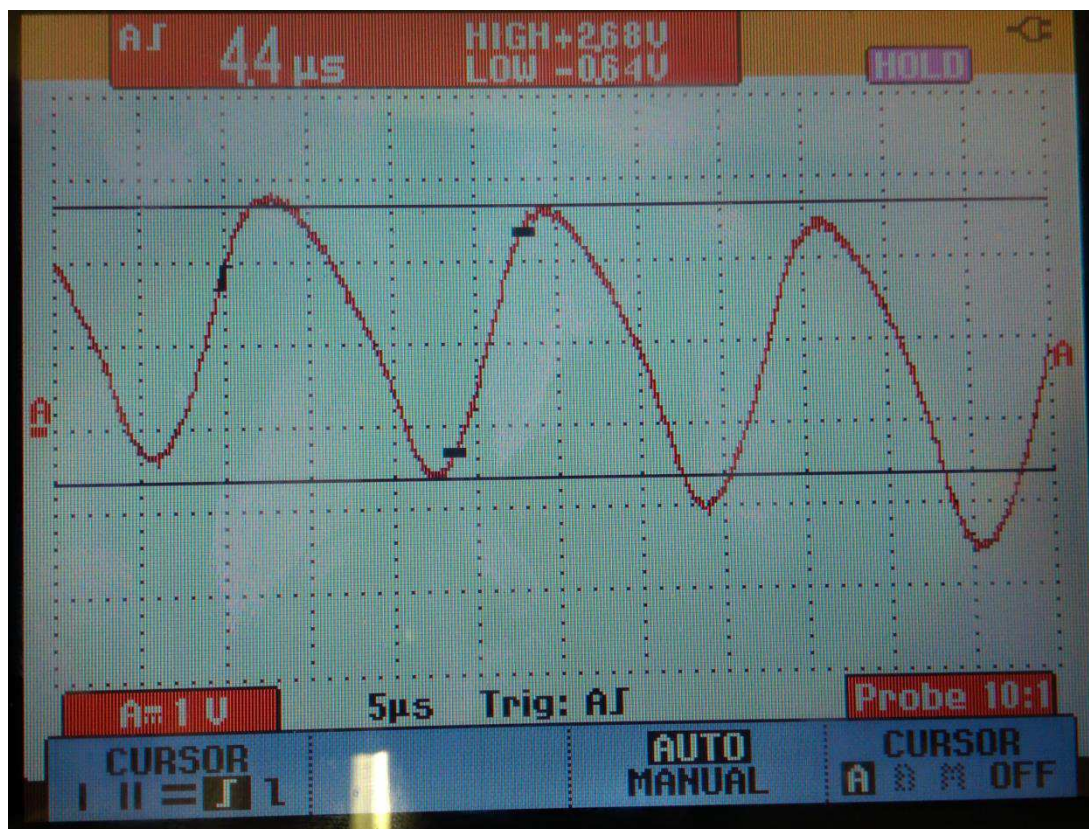


Рисунок 3.5 – Осциллограмма синфазного напряжения на портах МПУ в аварийном режиме

Для определения величины напряжения противофазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда (Е) и (0) (фаза – ноль). Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Зафиксируем осциллограмму напряжения нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения противофазной помехи представлена на рисунке 3.6. Амплитудные значения напряжений составили 9,2 В и -6,8 В. Среднее значение составляет 8 В. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение. Отключаем подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «OK» на лицевой панели.



Рисунок 3.6 – Осциллограмма противофазного напряжения на портах МПУ в аварийном режиме

7. Определим коэффициенты передачи противофазной и синфазной помех по формуле (2.2):

$$K_{\text{пр.п}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{противофазное ГВЧ}} - U_{\text{противофазное ХХ}}} = \frac{4,04 - 1,38}{8 - 0,07} = 0,34;$$

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{синфазное ГВЧ}} - U_{\text{синфазное ХХ}}} = \frac{4,04 - 1,38}{1,66 - 0,052} = 1,65$$

8. Определим реальное напряжение противофазной и синфазной помех на портах МПУ ОРУ 220кВ по формуле (2.3):

$$U_{\text{пр.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.п}}} = \frac{2 \cdot 10,2}{0,34} = 60 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{син.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{синф.п}}} = \frac{2 \cdot 10,2}{1,65} = 12,4 \text{ кВ}$$

9. Сравним реальное напряжение противофазной и синфазной помех с допустимым напряжением для 3 степени жесткости испытаний на помехоустойчивость МПУ:

$$60 \text{ кВ} > 2,5 \text{ кВ};$$

$$12,4 \text{ кВ} > 1 \text{ кВ}$$

Вывод - напряжение на входе МПУ выше допустимого, следовательно, необходимо применять меры по снижению уровня электромагнитных помех на портах МПУ.

10. Определим напряжение на портах МПУ при включенном ГВЧИ и подключенных широкополосных фильтров.

Для определения величины напряжения синфазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (F) (фаза – фаза). Подадим высокочастотный сигнал с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК». Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Тумблер SA5 включим в положение «1». Тумблер SA2 включим в положение «1». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s, а вертикальной клавишей «MOVE» переместим синусоиду на центр экрана. Зафиксируем осциллограмму нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения синфазной помехи представлена на рисунке 3.7. Амплитудные значения напряжений составили 120 мВ и -240 мВ. Среднее значение составляет 180 мВ.

По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение. Тумблер SA2 включим в положение «0». Отключим подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК» на лицевой панели.

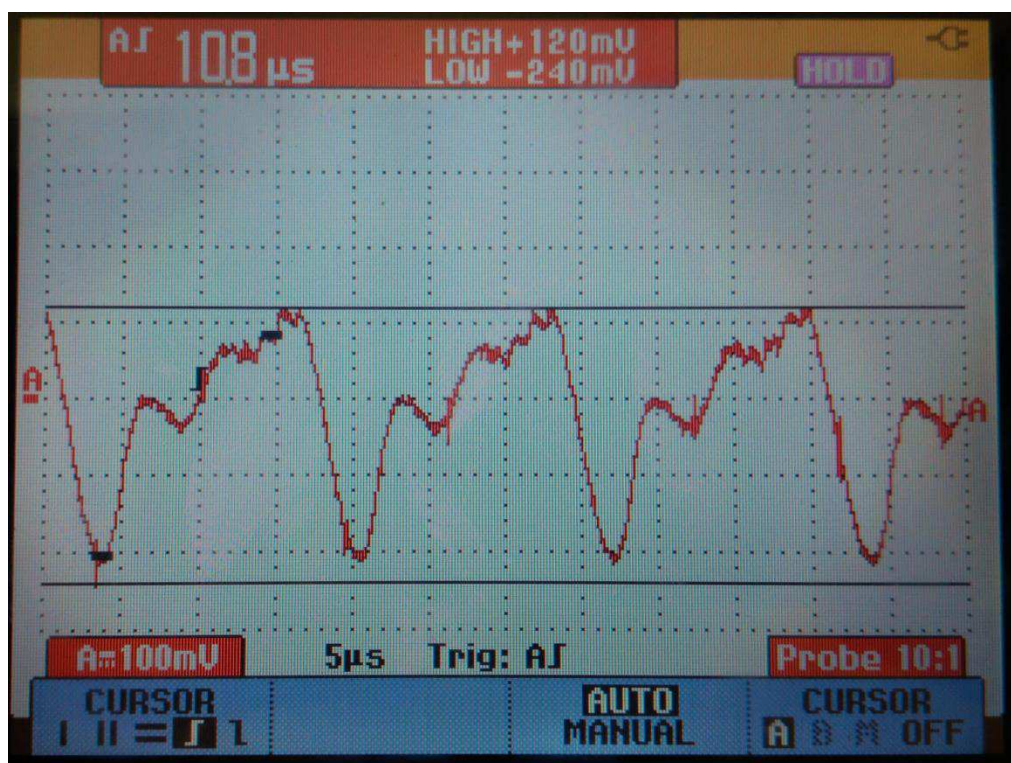



Рисунок 3.7 – Осциллограмма синфазного напряжения на портах МПУ в аварийном режиме

Для определения величины напряжения противофазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (0) (фаза – ноль). Подадим

высокочастотный сигнал с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК». Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Тумблер SA5 включим в положение «1». Тумблер SA2 включим в положение «1». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s, а клавишей «MOVE» переместим синусоиду на центр экрана. Зафиксируем осциллограмму нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. Осциллограмма напряжения противофазной помехи представлена на рисунке 3.8. Амплитудные значения напряжений составили 164 мВ и -96 мВ. Среднее значение составляет 130 мВ.

По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение. Тумблер SA2 включим в положение «0». Отключаем подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК» на лицевой панели. Отключаем ГВЧИ с помощью выключателя «POWER» на задней панели генератора. Отключаем осциллограф нажатием клавиши «». Для отключения питания стенда, необходимо выключить автоматический выключатель QF, сигнальная лампа HL1 – не горит.

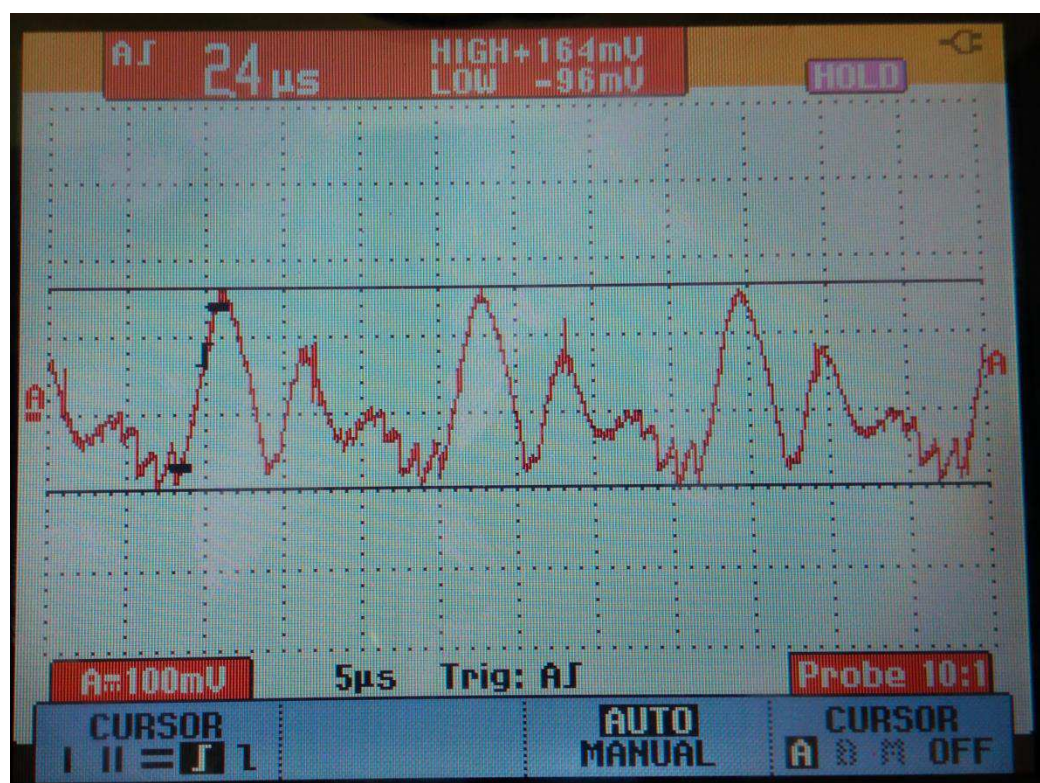


Рисунок 3.8 – Осциллограмма противофазного напряжения на портах МПУ в аварийном режиме

11. Определим коэффициенты передачи противофазной и синфазной помех по формуле (2.2):

$$K_{\text{пр.п}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{противофазное ГВЧ}} - U_{\text{противофазное ХХ}}} = \frac{4,04 - 1,38}{0,13 - 0,07} = 44,3;$$

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{ХХ}}}{U_{\text{синфазное ГВЧ}} - U_{\text{синфазное ХХ}}} = \frac{4,04 - 1,38}{0,18 - 0,052} = 20,8$$

12. Определим реальное напряжение противофазной и синфазной помех на портах МПУ ОРУ 220кВ по формуле (2.3):

$$U_{\text{пр.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.п}}} = \frac{2 \cdot 10,2}{44,3} = 460 \text{ В};$$

$$U_{\text{син.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{синф.п}}} = \frac{2 \cdot 10,2}{20,8} = 981 \text{ В}$$

13. Сравним реальное напряжение противофазной и синфазной помех с допустимым напряжением для 3 степени жесткости испытаний на помехоустойчивость МПУ:

$$460 \text{ В} < 2,5 \text{ кВ}$$

$$981 \text{ В} < 1 \text{ кВ}$$

Вывод - напряжение на входе МПУ ниже допустимого, следовательно, помехоустойчивость МПУ в пределах нормы.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие основные выводы по разделу:

1. Электрическая схема стенда полностью соответствует принципиальной схеме, полученной при виртуальном моделировании.
2. Среднее значение напряжений синфазной помехи меньше среднего значения напряжения противофазной помехи в 4,8 раз, что соответствует заложенным требованиям.
3. Выбранное оборудование и измерительные приборы позволяют получить качественные осциллограммы синфазных и противофазных помех, что указывает на работоспособность и надежность стенда.
4. На основании апробации работы стенда необходимо разработать методическое обеспечение к данной лабораторной работе.

4 Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы «Оценка воздействия высокочастотной составляющей однофазного тока короткого замыкания на работоспособность МПУ подстанций 110 кВ»

Методическое обеспечение включает в себя два основных раздела:

- 1) методические указания к лабораторным работам;
- 2) возможные варианты выполнения лабораторной работы с исходными данными и полученными результатами.

Методические указания предназначены для студентов и отражают последовательность выполнения лабораторных работ в зависимости от вариантов, которые выдает преподаватель.

Исходные данные с полученными результатами для каждого варианта предназначены для преподавателя с целью проверки достоверности полученных результатов студентами.

4.1 Методические указания к лабораторным работам: «Оценка воздействия высокочастотной составляющей однофазного тока короткого замыкания на работоспособность МПУ подстанций 110 кВ»

**Оценка воздействия высокочастотной
составляющей однофазного тока короткого
замыкания на работоспособность
микропроцессорных устройств подстанций
110 кВ**

**Методические указания к
лабораторным работам для
студентов электротехнических
специальностей**

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

**Оценка воздействия высокочастотной
составляющей однофазного тока короткого замыкания на
работоспособность микропроцессорных устройств
подстанций 110 кВ**

**Методические указания к лабораторным
работам для студентов электротехнических
специальностей**

Красноярск 2018

4.1.1 Введение

Задачи, стоящие перед высшей школой на современном этапе, требуют повышения качества подготовки специалистов, усиления их практического обучения. Большая роль в совершенствовании учебного практического обучения в вузах принадлежит увеличению доли лабораторно-практических занятий в общем объеме изучаемых дисциплин. Эта форма обучения больше, чем любая другая, позволит обеспечить единство теории и практики.

Целью методических указаний является помощь студентам в поиске необходимой информации при изучении курса «Электромагнитная остановка и электромагнитная совместимость на подстанции» и выполнении соответствующих лабораторных работ, что особенно важно в условиях имеющегося дефицита научно-технической литературы в данном направлении.

Содержание учебного пособия соответствует государственным образовательным стандартам и рабочим программам для студентов электротехнических специальностей вузов.

4.1.2 Техника безопасности при работах в лаборатории

Безопасность проведения и выполнения лабораторных работ является важнейшим условием учебного процесса. Несоблюдение правил техники безопасности и неосторожное обращение с электрическими аппаратами, схемами стендов лабораторных работ могут привести к тяжелым несчастным случаям.

Для предупреждения несчастных случаев все студенты, проводящие лабораторные работы, практические занятия или ведущие научно-исследовательские эксперименты в лаборатории и мастерской, должны знать и строго выполнять все требования по технике безопасности для каждого вида и рода работ, после инструктажа по технике безопасности они должны расписываться в специальном журнале.

Включение схемы под напряжение производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания произойдет автоматическое срабатывание автоматического выключателя и стенд обесточится. При повреждении прибора в собранной схеме студент должен немедленно отключить пакетный выключатель на лицевой панели стенда и, **не делая попыток к исправлению, сообщить о повреждении преподавателю или лаборанту.**

В случае прекращения опыта или перерыва в работе схему надо обязательно отключить от сети.

Все изменения в соединениях (согласно программе проведения каждой лабораторной работы) должны производиться только при отключенном рабочем щите. После каждого изменения соединений – до включения

напряжения – схема должна быть вновь проверена преподавателем или лаборантом.

Во время выполнения работы запрещается:

производить переключения в рабочей схеме, находящейся под напряжением;

прикасаться к оголенным токоведущим частям установок;

оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением;

включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и рубильники.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов **необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.**

4.1.3 Общие указания по оформлению отчетов

Отчеты по выполненным работам оформляют с использованием персонального компьютера.

Схемы, таблицы и графики можно вычерчивать в карандаше, но обязательно с применением чертежных принадлежностей. Элементы схемы должны быть изображены по ГОСТу. Значения аргумента следует откладывать по горизонтальной оси, а значения функции – по вертикальной. Вдоль осей наносят масштабные шкалы, деления которых должны быть равномерными. Числовые значения следует указывать против соответствующих делений.

После нанесения экспериментально полученных точек на график, следует провести плавную линию, проходящую по возможности ближе к этим точкам.

При большом количестве кривых на одном графике рекомендуется изображать их штриховыми, штрихпунктирными или цветными линиями.

Следует избегать графиков, в которых деления в начале координат начинаются не с нулевого значения. Такие графики не дают представления о характере рассматриваемых зависимостей.

В конце каждой выполненной и оформленной работы должна стоять подпись студента.

Защита лабораторных работ осуществляется согласно графику, утвержденному преподавателем.

Конкретные указания по содержанию отчетов приводятся в конце описания каждой лабораторной работы.

4.1.4 Общие положения

Вторичное оборудование, системы связи, кабели вторичной коммутации на протяжении всего срока службы подвергаются электромагнитным воздействиям разного вида. Невыполнения условий ЭМС приводит к

повреждению вторичного оборудования, неправильным действиям (отказам, излишним или ложным срабатываниям) устройств РЗА, перекрытию изоляции кабелей вторичной коммутации и клемм шкафов вторичной коммутации, сбоем в работе автоматизированных рабочих мест персонала и т.д., существенно снижает надежность работы энергообъекта.

Критерием выполнения условий ЭМС является обеспечение электромагнитной обстановки, при которой наибольшие возможные уровни электромагнитных воздействий всех видов на объекте электросетевого хозяйства не превышают допустимых значений для каждого конкретного вторичного оборудования.

ЭМС вторичного оборудования и систем связи достигается при выполнении основных требований:

- применение вторичного оборудования с высоким уровнем помехозащищенности;
- применение первичного и вторичного оборудования с ограниченным уровнем эмиссии электромагнитных воздействий;
- выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, обеспечивающих ограничение электромагнитных воздействий.

Каждое устройство испытывают на устойчивость к электромагнитным воздействиям. В технической документации на устройство производитель должен указывать уровень помехоустойчивости устройства, степень жесткости испытаний, а также уровень эмиссии электромагнитных воздействий. При аттестации оборудования, устанавливаемого на подстанциях, следует предъявлять требования по испытанию на помехоустойчивость и помехоэмиссию. Рекомендуемые степени жесткости испытаний и параметры испытательных воздействий для устройств вторичного оборудования и систем связи приведены в таблице 4.1.

Устойчивая и надежная работа вторичного оборудования и систем связи возможна только при условии создания на объекте ЭМО, при которой уровни электромагнитных воздействий всех видов не превышают допустимые для каждого конкретного устройства значения.

Таблица 4.1 – Виды испытаний на помехоустойчивость и помехоэмиссию вторичного оборудования и рекомендуемые степени жесткости.

| № п/п | Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость | Нормативный документ | Степень жесткости испытаний (тип соединения) | Параметр | Примечание |
|-------------------------|---|--|--|---|---|
| 1 | Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю. Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме) и импульсным напряжением. | ГОСТ 30328-95 МЭК 60255-5 | - | 2000 В переменного тока | Для всех портов питания и для портов проводных цепей, выходящих на РУ |
| Порт корпуса | | | | | |
| 2 | Магнитные поля промышленной частоты от силового оборудования в нормальных и аварийных режимах. На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты | ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8). | 5 ст. жест. | 100А/м (длительно), 1000А/м (кратковременно) | Для устройств чувствительных к магнитным полям |
| | | | 2 ст. жест. | 3А/м (длительно) | Для мониторов с электронно-лучевой трубкой |
| 3 | Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от внешних и внутренних устройств связи. На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям | ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 61000-4-3). | Не ниже 3 ст. жест. | 10В/м | Для всех устройств. |
| 4 | Импульсные магнитные поля от молнии и первичных цепей. На устойчивость к импульсному магнитному полю. | ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93). | Не ниже 4 ст. жест. | 300А/м | Для устройств чувствительных к магнитным полям. |
| 5 | Разряды статического электричества с персонала. На устойчивость к разрядам статического электричества. | ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96). | Не ниже 3 ст. жест | 6кВ контактный, 8кВ воздушный | Для всех устройств. |
| Сигнальные порты | | | | | |
| 6 | Импульсные помехи, возникающие при | ГОСТ Р 51317.4.12-99 | Локальное Полевое | - | Для всех устройств. |

Продолжение таблицы 4.1

| № п/п | Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость | Нормативный документ | Степень жесткости испытаний (тип соединения) | Параметр | Примечание |
|---------------------------------|--|---|---|---|-----------------------------|
| | коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам. | (МЭК 61000-4-12-96) | 3. ст. жест. (для однократных) 2 ст. жест. (для повторяющихся) <u>С</u> оборудованием 4. ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся) | 2кВ (провод -земля), 1кВ (провод -провод) 1кВ (провод -земля), 0,5кВ (провод – провод) 4кВ(провод -земля), 2кВ противофазное 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод - провод) | |
| 7 | Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. | ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95). | <u>Локальное</u> Провод -земля 2 ст. жест. Провод -провод 1 ст. жест. <u>Полевое</u> Провод -земля 3 ст. жест. Провод -провод ст. жест. <u>С</u> оборудованием Провод -земля 4 ст. жест. Провод -провод ст. жест. | 1кВ 0,5 кВ 2кВ 1 кВ 4кВ 2 кВ | Для всех устройств. |
| 8 | Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам | ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4). | <u>Локальное</u> 3 ст. жест. <u>Полевое</u> 4 ст. жест. <u>С</u> <u>оборудованием</u> Спец. Ст. жест. | 1кВ 2кВ 4кВ | Для всех устройств. |
| 9 | На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц. | ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96). | 3 ст. жест. | 10 В | Для всех сигнальных портов. |
| Питание постоянным током | | | | | |
| 10 | Провалы напряжения | МЭК 61000-4-29 | 30% (1с) 60% (0,1с) | | Только для входных портов. |

Продолжение таблицы 4.1

| № п/п | Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость | Нормативный документ | Степень жесткости испытаний (тип соединения) | Параметр | Примечание |
|-------|--|---|---|---|---|
| | Прерывания напряжения | | 100% (0,5с) | | |
| 11 | На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока. | ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99). | Не ниже 3 ст. жест. | Пульсации не выше 10%. | Для всех портов питания постоянного тока. |
| 12 | Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. | ГОСТ Р 51317.4.16 - 2000 (МЭК 61000-4-16-96). | Не ниже 3 ст. жест. | 10В (длительно) 100В (1с) | Для всех портов питания постоянного тока. |
| 13 | Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. | ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95). | Провод -земля 3 ст. жест. Провод -провод 2 ст. жест. | 2кВ 1 кВ | Для всех портов питания постоянного тока. |
| 14 | Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам | ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4). | 4 ст. жест. | 4кВ | Для всех портов питания постоянного тока. |
| 15 | Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц. | ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96). | 3 ст. жест. | 10 В | Для всех портов питания постоянного тока. |
| 16 | Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к помехам | ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12) | 4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся) | 4кВ (провод - земля), 2кВ (провод -провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод -провод) | Для всех портов питания постоянного тока. |

Продолжение таблицы 4.1

| № п/п | Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость | Нормативный документ | Степень жесткости испытаний (тип соединения) | Параметр | Примечание |
|---------------------------------|--|---|---|---|---|
| Питание переменным током | | | | | |
| 17 | Провалы напряжения | МЭК 61000-4-29 | 30% (50 периодов) 60% (1 период) | | Только для входных портов. |
| | Прерывания напряжения | | 100% (5 периодов) | | |
| 18 | На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока. | ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13). | В соответствии с рекомендациями настоящих МУ. | | Для всех портов питания переменного тока. |
| | На устойчивость к колебаниям напряжения | ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000). | | | |
| | На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания | ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94). | | | |
| 19 | На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока | ГОСТ Р 51317.4..28-2000 (МЭК 61000-4-28-2000). | | | |
| 20 | На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.. | ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96). | Не ниже 3 ст. жест. | (10В) | Для всех портов питания переменного тока. |
| 21 | Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам. | ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12) | 4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся) | 4кВ (провод - земля), 2кВ (провод - провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод - провод) | Для всех портов питания переменного тока. |
| 22 | На устойчивость к наносекундным импульсным помехам | ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4). | 4 ст. жест. | 4кВ | Для всех портов питания переменного тока. |

Окончание таблицы 4.1

| № п/п | Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость | Нормативный документ | Степень жесткости испытаний (тип соединения) | Параметр | Примечание |
|--|---|---|---|----------|--|
| 23 | Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. | ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96). | Провод -земля 4 ст. жест. Провод -провод 3 ст. жест. | 4кВ 2 кВ | Для всех портов питания переменного тока. |
| Порт функционального заземления | | | | | |
| 24 | На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи применением емкостных клещей связи) | ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4). | 4 ст. жест. | 4кВ | Требования применяют к соединениям с функциональным заземлением, отделенным от защитного заземления. |
| 25 | Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.. | ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96). | Не ниже 3 ст. жест. | (10В) | 10В=140дБ (мкВ) |
| Помехоэмиссия | | | | | |
| 26 | Радиопомехи от оборудования. Помехоэмиссия. | ГОСТ Р 51318.22- 99 (СИСПР 22-97) ГОСТ Р 51318.11-99 (СИСПР 11-97) | В соответствии с ГОСТ | | |

4.1.5 Термины и определения

Для целей настоящих методических указаний применяются следующие термины и их определения:

Внешние устройства молниезащиты – комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

Внешний контур заземления (здания) – замкнутый горизонтальный заземлитель, проложенный вокруг здания.

Внутреннее устройство заземления (здания) – совокупность заземляющих проводников, расположенных внутри здания.

Выносной заземлитель – заземлитель, выполненный за пределами территории энергообъекта.

Вторичное оборудование – аппаратура (устройства) релейной защиты и электроавтоматики, противоаварийной автоматики; автоматизированной системы управления технологическим процессом; автоматизированной системы диспетчерского управления; системы сбора и передачи информации; автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии; противопожарной системы; охранной сигнализации; видеонаблюдения; система оперативного постоянного тока; система собственных нужд напряжением 0,4кВ переменного тока; системы управления и сигнализации вспомогательного оборудования; система диагностики силового оборудования, контрольные кабели и т.п.

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлитель – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Заземляющий проводник (РЕ – проводники) – проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

Зона нулевого потенциала (относительная земля) – часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

Излучаемая электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, распространяющаяся в пространстве.

Класс (степень) жесткости – соответствующий уровень испытательного электромагнитного воздействия.

Кондуктивная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, распространяющаяся в проводнике.

Молниеприемник – часть молниеотвода, предназначенная для перехвата молнии.

Магистраль заземления – заземляющий проводник с двумя или более ответвлениями.

Напряжение прикосновения – напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека.

Разность потенциалов на заземляющем устройстве – разность потенциалов, возникающая между различными точками заземляющего устройства при кратком замыкании на подстанции, вызванная продольными токами и сопротивлением проводников заземляющей системы.

Разряд статического электричества – импульсный перенос электрического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами при непосредственном контакте или при сближении их на некоторое, достаточно малое расстояние.

Показатель качества электрической энергии – величина, характеризующая качество электрической энергии по одному или нескольким ее параметрам.

Противофазная помеха – электромагнитная (кондуктивная) помеха, возникающая между фазным проводом и землей.

Пульсации напряжения постоянного тока – процесс периодического или случайного изменения постоянного напряжения относительно его среднего уровня в установившемся режиме работы источника, преобразователя электрической энергии или системы электроснабжения.

Синфазная помеха – электромагнитная (кондуктивная) помеха, возникающая между двумя фазными проводами.

Сопротивление заземляющего устройства – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

Ток замыкания на землю – ток, стекающий в землю в месте замыкания.

Токоотвод – часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

Устойчивость к электромагнитной помехе, помехоустойчивость – способность ТС сохранять заданное качество функционирования значениями воздействия на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствие дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения ТС.

Уровень устойчивости к электромагнитной помехе, уровень помехоустойчивости – максимальный уровень электромагнитной помехи конкретного вида, воздействующей на определенное ТС, при котором ТС сохраняет заданное качество функционирования.

Электромагнитная совместимость технических средств (ЭМС ТС) – способность ТС функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим ТС.

Электромагнитная обстановка – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, в частотном и временном диапазоне.

Электромагнитная помеха – электромагнитное явление, процесс, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования ТС.

Электромагнитное возмущение (воздействие) – любое электромагнитное явление, которое может ухудшить работы прибора, оборудования или системы или неблагоприятно влиять на срок службы.

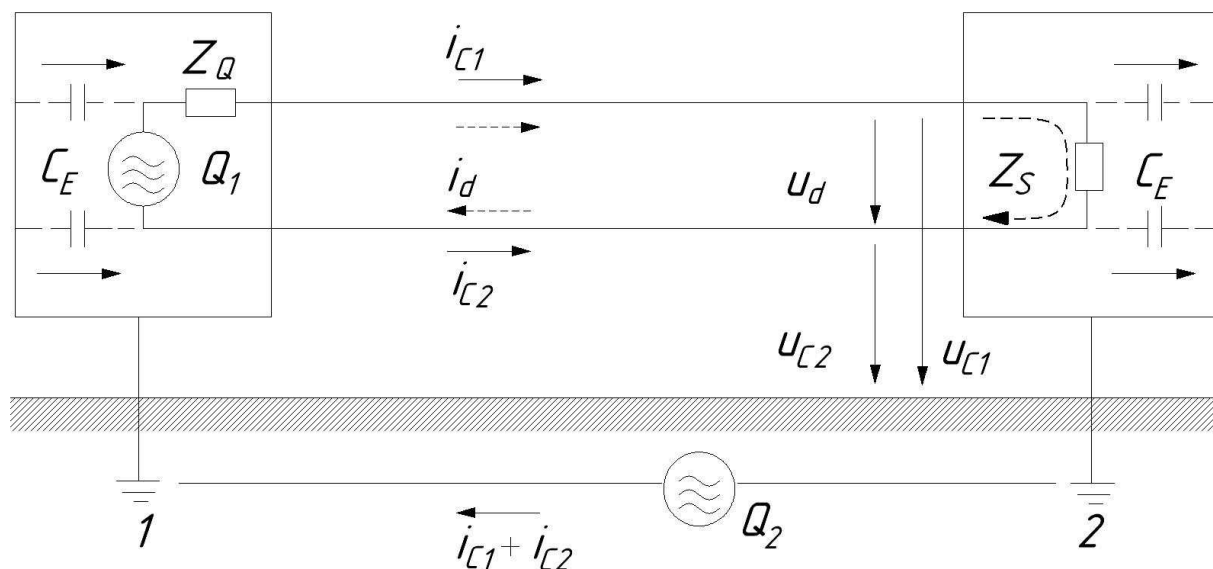
Электромагнитное излучение от источника помех – явление, процесс, при котором электромагнитная энергия излучается источником помехи в пространство в виде электромагнитных волн.

4.1.6 Теоретические основы имитации высокочастотной составляющей тока короткого замыкания

Противофазные и синфазные помехи

Помехи напряжения или тока, возникающие в проводах, могут рассматриваться как противофазные или синфазные.

Синфазные напряжения помех (u_d) возникают между проводами двухпроводной линии. Противофазные помехи (u_c) возникают через гальванические или полевые связи или преобразуются из синфазных помех в системах, несимметричных относительно земли (рисунок 4.1). Конкретные примеры возникновения синфазных помех рассматриваются в последующих разделах.



C_E - паразитные емкости относительно заземленного корпуса; Q_1 – источник синфазных помех; Q_2 - источник противофазных помех; Z_Q, Z_S – полные сопротивления источника и приемника помех; i_{C1}, i_{C2} - противофазные токи, i_d - синфазный ток; u_{C1}, u_{C2} - противофазные напряжения помех; u_d – синфазное напряжение помех.

Рисунок 4.1 – Помехи, связанные с передачей сигналов по линии

Синфазные напряжения помех непосредственно накладываются на полезные сигналы в сигнальных цепях или на напряжение питания в цепях электроснабжения, воздействуют на линейную изоляцию между проводами и могут быть восприняты как полезные сигналы в устройствах автоматизации и тем самым вызывать ошибочное функционирование.

Противофазные напряжения помех (несимметричные, продольные напряжения) возникают между каждым проводом и землей и воздействуют на изоляцию проводов относительно земли.

Противофазные помехи обусловлены главным образом разностью потенциалов в цепях заземления устройства, например между точками 1 и 2 (рисунок 4.1), вызванной токами в земле (аварийными, при замыканиях высоковольтных линий на землю, рабочими или токами молнии) или магнитными полями.

Имитация высокочастотных помех

При коммутациях и коротких замыканиях на землю в ЗУ через паразитные емкости оборудования на землю проходит импульсный ток высокой частоты. На оборудовании возникает скачок потенциала. Возросший потенциал с определенным коэффициентом ослабления передается по кабелям на вход МПУ, что приводит к нарушению работоспособности МПУ.

Высокочастотную (ВЧ) составляющую тока короткого замыкания имитируют при помощи генератора высокочастотных импульсов (ГВЧИ). Схема экспериментов приведена на рисунке 4.2. Для измерений выбирают цепи, где ожидается наибольший уровень помех. Такими являются цепи, для которых входное сопротивление на устройствах в нормальном режиме больше 1 кОм (например, разомкнутый контакт)[1].

При коммутациях и коротких замыканиях на землю в результате переходного процесса в цепях высокого напряжения происходит разряд емкостей оборудования и шин на землю, и через заземлитель проходит импульсный ток высокой частоты.

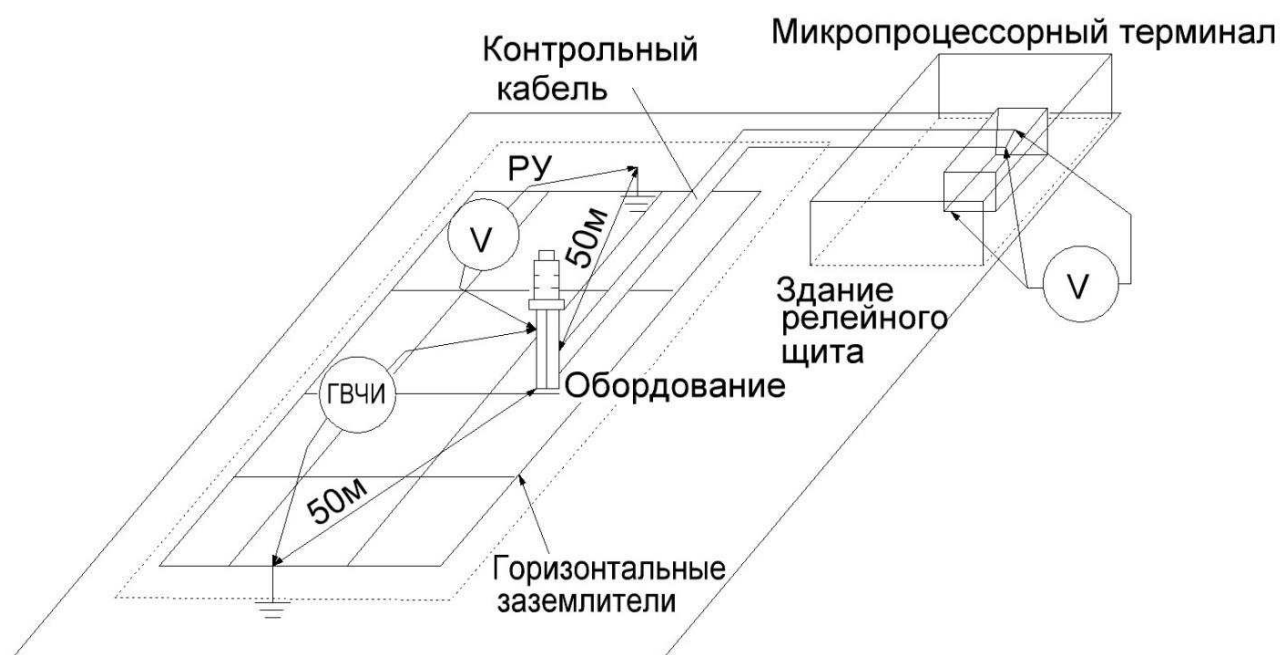


Рисунок 4.2 – Схема эксперимента по определению импульсных помех при протекании высокочастотной составляющей тока КЗ

На заземляющем устройстве оборудования и в месте короткого замыкания происходит импульсный подъем потенциала. Этот потенциал с определенным коэффициентом ослабления передается по кабелям на вход устройств систем релейной защиты и технологического управления.

Для определения значений импульсных помех проводят имитационные испытания. Имитацию высокочастотной составляющей тока короткого замыкания осуществляют при помощи генератора высокочастотных импульсов (ГВЧИ).

Один вывод генератора подключают к заземляющему проводнику оборудования, к которому приходят кабели от устройств систем релейной защиты и технологического управления, а второй вывод генератора заземляют на расстоянии не менее 50 м от данного оборудования, если удельное сопротивление грунта менее 1000 Ом·м[2]. В заземление оборудования подают импульсный ток. Также измеряют импульсный потенциал заземляющего устройства и определяют импульсное сопротивление заземления оборудования. Потенциал измеряют относительно точки, удаленной от места ввода тока на расстояние не менее 50 м в противоположном направлении от точки заземления генератора.

Высокая частота обуславливает резко неравномерное распределение потенциала на заземляющем устройстве. Чем меньше удельное сопротивление грунта, тем быстрее спадает потенциал на заземляющем устройстве по мере удаления от места ввода тока. На расстоянии 50 м от точки ввода импульсного тока потенциал падает более чем в 10 раз даже при сопротивлении грунта 1 Ом·м. Необходимое расстояние между оборудованием и местом заземления второго выхода генератора определяют по таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Необходимое расстояние между оборудованием и местом заземления

| Удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м | Необходимое расстояние до места заземления второго выхода генератора, м |
|---|---|
| < 1000 | 50 |
| 1000 - 2000 | 60 |
| 2000 - 5000 | 70 |
| 5000 - 10000 | 80 |
| 10000 - 15000 | 90 |

На реальных объектах частота колебаний импульсных помех может изменяться от десятков килогерц до десятков мегагерц. Измерения при трех указанных частотах позволяют установить зависимость уровня импульсных помех от частоты. Включают генератор и при фиксированных амплитуде и частоте колебаний импульса тока проводят измерения импульсным вольтметром или осциллографом синфазных и противофазных помех на зажимах в месте подключения кабелей к МПУ.

Одновременно с измерением помех в цепях вторичной коммутации проводят измерение потенциала на заземляющем проводнике оборудования и определяют импульсное сопротивление Z растеканию тока как отношение максимальных значений напряжения и выходного тока генератора. Потенциал на заземляющем оборудовании измеряют с помощью импульсного вольтметра или осциллографа относительно земли на расстоянии не менее 50 м в противоположном направлении от места заземления генератора.

Изменяют частоту колебаний импульса тока и повторяют измерения. Допускается выбрать не менее двух образцов однотипного оборудования, например выключателей, и провести измерение импульсных помех в цепях вторичной коммутации только этого оборудования. Результаты измерений при имитации импульсных помех приводятся к реальному значению высокочастотной составляющей тока короткого замыкания. Реальный ток определяют путем расчета переходного процесса на шинах распределительного устройства при коммутациях и КЗ на землю или принимают из таблицы 4.3.

Таблица 4.3 – Параметры ВЧ составляющей тока КЗ для ОРУ

| $I_{ВЧ}$ | Номинальное напряжение подстанции $U_{ном}$ | | | |
|----------|---|--------|--------|--------|
| | 110 кВ | 220 кВ | 330 кВ | 500 кВ |
| | 1кА | 2кА | 6кА | 8кА |

4.1.7 Лабораторная работа №1.

«Оценка воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 110 кВ».

Цель работы: Изучение метода имитации высокочастотной составляющей однофазного тока короткого замыкания для оценки устойчивости работы МПУ, эксплуатируемых на подстанциях напряжением 110 кВ, в режиме короткого замыкания.

Перечень приборов: Аналоговый амперметр CG -72, осциллограф Fluke 196с, генератор высокочастотных импульсов MHS-5200P.

Порядок выполнения работы

1. При выполнении лабораторной работы измерения и расчетные значения записываются в таблицу 1.1


Таблица 1.1 – Результаты измерений и расчетов

| Наименование величины | Обозначение величины | Размер величины |
|---|------------------------------|-----------------|
| Напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в безаварийном режиме | U_{xx} , В | |
| Напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в аварийном режиме | $U_{гвч}$, В | |
| Ток генератора высокочастотных импульсов | $I_{ГВЧИ}$, А | |
| Импульсное сопротивление оборудования | $Z_{имп.обор.}$, Ом | |
| Напряжение синфазной помехи на портах МПУ в безаварийном режиме | $U_{синфазное\ xx}$, В | |
| Напряжение противофазной помехи на портах МПУ в безаварийном режиме | $U_{противофазное\ xx}$, В | |
| Напряжение синфазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{синфазное\ гвч}$, В | |
| Напряжение противофазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{противофазное\ гвч}$, В | |
| Коэффициент передачи синфазной помехи | $K_{пр.с}$ | |
| Коэффициент передачи противофазной помехи | $K_{пр.п}$ | |
| Реальное напряжение синфазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{син.р.}$, кВ | |
| Реальное напряжение противофазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{пр.р.}$, кВ | |
| При подключенных широкополосных фильтрах | | |
| Напряжение синфазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{синфазное\ гвч}$, В | |
| Напряжение противофазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{противофазное\ гвч}$, В | |
| Коэффициент передачи синфазной помехи | $K_{пр.с}$ | |
| Коэффициент передачи противофазной помехи | $K_{пр.п}$ | |
| Реальное напряжение синфазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{син.р.}$, В | |
| Реальное напряжение противофазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{пр.р.}$, В | |

2. Для подачи питания на стенд, необходимо включить автоматический выключатель QF, сигнальная лампа HL1 - загорается. Подключим блоки питания осциллографа Fluke 196с и ГВЧИ MHS-5200P к сети напряжением 220В с помощью штепсельных разъемов.

3. Выбираем напряжение подстанции равное 110 кВ, посредством включения тумблера SA7 в левое положение. Синяя сигнальная лампа – загорается.

4. Для определения напряжения между корпусом оборудования, в роли которого выступает выключатель ВВ (точка С), и потенциальным электродом (точка D) в режиме холостого хода используем осциллограф Fluke 196c (U_{xx}). Для этого подключим щупы канала «А» осциллографа Fluke 196c в гнезда стенда (С) и (D) на его лицевой части. ГВЧИ – выключен.

Включаем тумблер SA1 в положение «XX», тумблер SA4 в положение «1». Включаем осциллограф нажатием клавиши  затем нажимаем клавишу F4, чтобы закрыть информационное окно на экране. Далее для настройки курсора нажимаем клавишу «CURSOR». Многократным нажатием клавиши F1 выделим символ «┐». На экране появятся два горизонтальных курсора. Далее нажать клавишу «F3» и выбрать режим «AUTO». Зафиксируем осциллограмму напряжением нажатием кнопки «HOLD» (фиолетового цвета). Сделаем фотографию осциллограммы. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 переводим в нейтральное положение, тумблер SA4 в положение «0».

5. Определим напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в аварийном режиме при включенном ГВЧИ ($U_{ГВЧ}$). Для этого установим штекеры ГВЧИ в гнезда стенда (А) и (В). Затем включим ГВЧИ выключателем «POWER» на задней панели корпуса генератора. На передней панели генератора медленным вращением ручки энкодера «ADJUST» установим частоту выходного сигнала 60 кГц. Далее установим амплитуду выходного сигнала, для этого нажимаем кнопку «SHIFT», затем кнопку «AMPL». Для изменения размера шага амплитуды выходного сигнала перемещаем курсор «_» кнопкой «◀» в крайнее левое положение, затем вращением ручки энкодера «ADJUST» установим значение 20 В. Затем подаем высокочастотный сигнал с ГВЧИ. Для этого нажимаем кнопку «PgDn», после того, как на дисплее появилась надпись «ROUT», нажимаем кнопку «OK». На приборной панели стенда включаем тумблер SA1 в положение «ГВЧИ», тумблер SA3 в положение «1».

Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s, а вертикальной клавишей «MOVE» переместим синусоиду на центр экрана. Зафиксируем значение осциллограммы напряжением нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы.

По окончании эксперимента для определения импульсного сопротивления оборудования зафиксируем значение тока ГВЧИ ($I_{ГВЧ}$) с помощью амперметра, расположенного на приборной панели стенда. Отключаем подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «OK» на лицевой панели генератора, тумблер SA3 переводим в положение «0», тумблер SA1 переводим в нейтральное положение. На осциллографе нажать клавишу «HOLD».

6. Определим напряжение на портах МПУ в режиме холостого хода при выключенном ГВЧИ.

Для определения величины напряжения синфазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (F) (фаза-фаза). Тумблер SA1 включим в положение «XX». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 50 ns. Зафиксируем осциллограмму нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение.

Для определения величины напряжения противофазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (0) (фаза – ноль). Тумблер SA1 включим в положение «XX». Зафиксируем осциллограмму нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение.

7. Определим напряжение на портах МПУ в аварийном режиме при включенном ГВЧИ.

Для определения величины напряжения синфазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (Е) и (F) (фаза – фаза). Подадим высокочастотный сигнал с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК». Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s. Зафиксируем осциллограмму нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение.

Для определения величины напряжения противофазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда (Е) и (0) (фаза – ноль). Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Зафиксируем осциллограмму нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение. Отключаем подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК» на лицевой панели.

8. Определим импульсное сопротивление оборудования по формуле:

$$Z_{\text{имп.обор.}} = \frac{U_{\text{ГВЧ}} - U_{\text{XX}}}{I_{\text{ГВЧИ}}}, \quad (1.1)$$

9. Определим коэффициенты передачи противофазной и синфазной помех по формуле:

$$K_{\text{пр.п}} = \frac{U_{\text{гвч}} - U_{\text{хх}}}{U_{\text{противофазное гвч}} - U_{\text{противофазное хх}}}; \quad (1.2)$$

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{U_{\text{гвч}} - U_{\text{хх}}}{U_{\text{синфазное гвч}} - U_{\text{синфазное хх}}} \quad (1.3)$$

10. Определим реальное напряжение противофазной и синфазной помех на портах МПУ по формуле:

$$U_{\text{пр.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{пр.п}}}; \quad (1.4)$$

$$U_{\text{син.р.}} = \frac{I_{\text{ВЧ}} \cdot Z_{\text{имп.обор.}}}{K_{\text{синф.п}}}, \quad (1.5)$$

где $I_{\text{ВЧ}}$ – высокочастотная составляющая тока КЗ, определяется согласно таблицы 1.2

Таблица 1.2 – Параметры ВЧ составляющей тока КЗ для ОРУ

| $I_{\text{ВЧ}}$ | Номинальное напряжение подстанции $U_{\text{ном}}$ | | | |
|-----------------|--|--------|--------|--------|
| | 110 кВ | 220 кВ | 330 кВ | 500 кВ |
| | 1кА | 2кА | 6кА | 8кА |

11. По таблице 1.3 Сравним реальное напряжение противофазной и синфазной помех с допустимым напряжением для 3 степени жесткости испытаний на помехоустойчивость МПУ. Если напряжение на входе МПУ выше допустимого, то необходимо применять меры по снижению уровня электромагнитных помех на портах МПУ.

Таблица 1.3 – Степени жесткости и нормируемые уровни испытаний при воздействии напряжением затухающих колебаний.

| Степень жесткости | Противофазное напряжение, кВ | Синфазное напряжение, кВ |
|-------------------|---|--------------------------|
| 1 | 0,5 | 0,25 |
| 2 | 1 | 0,5 |
| 3 | 2,5 | 1 |
| Специальная(4) | По согласованию между потребителем и производителем | |


12. Определим напряжение на портах МПУ при включенном ГВЧИ и подключенных широкополосных фильтрах.

Для определения величины напряжения синфазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (E) и (F) (фаза – фаза). Подадим высокочастотный сигнал с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК». Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Тумблер SA5 включим в положение «1». Тумблер SA2 включим в положение «1». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s, а вертикальной клавишей «MOVE» переместим синусоиду на центр экрана. Зафиксируем осциллограмму напряжением нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы.

По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение. Тумблер SA2 включим в положение «0». Отключим подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК» на лицевой панели.

Для определения величины напряжения противофазной помехи щупы осциллографа установим в гнезда стенда (E) и (0) (фаза – ноль). Подадим высокочастотный сигнал с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК». Тумблер SA1 включим в положение «ГВЧИ». Тумблер SA5 включим в положение «1». Тумблер SA2 включим в положение «1». Для удобства работы с осциллограммой с помощью клавиши «TIME ns» установим развертку 5 μ s, а клавишей «MOVE» переместим синусоиду на центр экрана. Зафиксируем осциллограмму напряжением нажатием кнопки «HOLD». Сделаем фотографию осциллограммы.

По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD», тумблер SA1 ставим в нейтральное положение. Тумблер SA2 включим в положение «0». Отключаем подачу высокочастотного сигнала с ГВЧИ, для этого нажимаем кнопку «ОК» на лицевой панели.

По окончании выполнения лабораторной работы отключаем ГВЧИ с помощью выключателя «POWER» на задней панели генератора. Отключаем осциллограф нажатием клавиши «». Для отключения питания стенда, необходимо выключить автоматический выключатель QF, сигнальная лампа HL1 – не горит.

13. Определим коэффициенты передачи противофазной и синфазной помех по формуле (1.2) и (1.3).

14. Определим реальное напряжение противофазной и синфазной помех на портах МПУ по формуле (1.4) и (1.5).

15. По таблице 1.2 сравним реальное напряжение противофазной и синфазной помех с допустимым напряжением для 3 степени жесткости испытаний на помехоустойчивость МПУ. Если напряжение на входе МПУ ниже допустимого, следовательно, помехоустойчивость МПУ в пределах нормы.

16. Сделать необходимые выводы по лабораторной работе.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое кондуктивные помехи?
2. Что такое излучаемые помехи?
3. Какие помехи относят к кондуктивным?
4. Что такое противофазная помеха?
5. Что такое синфазная помеха?
6. Какие помехи относят к излучаемым?
7. В чем отличие противофазной и синфазной помех?
8. Что такое импульсное сопротивление оборудования?
9. Что такое коэффициент передачи помехи?
10. Назовите причины возникновения разности потенциалов на заземляющем контуре в безаварийном режиме.
11. Для чего предназначен осциллограф?
12. Основные методы снижения синфазных и противофазных помех.
13. Метод определения синфазных и противофазных помех.
14. Метод определения импульсного сопротивления оборудования.
15. Как происходит имитация высокочастотной составляющей?
16. Чему равна высокочастотная составляющая в сети 110 кВ?
17. Чему равна высокочастотная составляющая в сети 220 кВ?

4.2 Возможные варианты выполнения лабораторной работы с исходными данными и полученными результатами

Разработанный стенд позволяет выполнить лабораторную работу №1 «Оценка воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 110 кВ» и лабораторную работу №2 «Оценка воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 220 кВ» в трех основных вариантах. В каждом варианте изменяется импульсное сопротивление оборудования, вследствие этого изменяются расчеты синфазной и противофазной помех. В реальности количество вариантов увеличивается за счет фиксации разных значений синфазной и противофазной помех. Разность значений при фиксации синфазной и противофазной помех задается автоматически в допустимых пределах. Результаты вариантов с полученными данными для лабораторной работы №1 приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Варианты расчетов с полученными данными для лабораторной работы №1

| Наименование величины | Обозначение величины | Размер величины | | |
|---|-----------------------------|-----------------|-----------|-----------|
| | | 1 вариант | 2 вариант | 3 вариант |
| Напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в безаварийном режиме | $U_{xx}, В$ | 1,38 | 1,38 | 1,38 |
| Напряжение между корпусом оборудования и потенциальным электродом в аварийном режиме | $U_{гвч}, В$ | 4,04 | 4,04 | 4,04 |
| Ток генератора высокочастотных импульсов | $I_{ГВЧИ}, А$ | 0,26 | 0,52 | 0,78 |
| Импульсное сопротивление оборудования | $Z_{имп.обор.}, Ом$ | 10,2 | 5,1 | 3,4 |
| Напряжение синфазной помехи на портах МПУ в безаварийном режиме | $U_{синфазное\ xx}, В$ | 0,052 | 0,052 | 0,052 |
| Напряжение противофазной помехи на портах МПУ в безаварийном режиме | $U_{противофазное\ xx}, В$ | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| Напряжение синфазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{синфазное\ гвч}, В$ | 1,66 | 1,66 | 1,66 |
| Напряжение противофазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{противофазное\ гвч}, В$ | 8 | 8 | 8 |
| Коэффициент передачи синфазной помехи | $K_{пр.с}$ | 1,65 | 1,65 | 1,65 |
| Коэффициент передачи противофазной помехи | $K_{пр.п}$ | 0,34 | 0,34 | 0,34 |
| Реальное напряжение синфазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{син.р.}, кВ$ | 6,2 | 3,1 | 2,06 |
| Реальное напряжение противофазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{пр.р.}, кВ$ | 30 | 15 | 10 |
| При подключенных широкополосных фильтрах | | | | |
| Напряжение синфазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{синфазное\ гвч}, В$ | 0,18 | 0,18 | 0,18 |
| Напряжение противофазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{противофазное\ гвч}, В$ | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| Коэффициент передачи синфазной помехи | $K_{пр.с}$ | 20,8 | 20,8 | 20,8 |
| Коэффициент передачи противофазной помехи | $K_{пр.п}$ | 44,3 | 44,3 | 44,3 |
| Реальное напряжение синфазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{син.р.}, В$ | 490 | 245 | 163 |
| Реальное напряжение противофазной помехи на портах МПУ в аварийном режиме | $U_{пр.р.}, В$ | 230 | 115 | 77 |

5 Выполнение условий безопасности жизнедеятельности при монтаже и наладке лабораторного стенда

Безопасность жизнедеятельности – это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека.

Безопасность – это комплексная система мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью. Чем сложнее вид деятельности, тем более расширена система защиты.

Для обеспечения безопасности конкретной деятельностью должны быть решены три задачи:

1. Разработать эффективные меры защиты человека и среды обитания от выявленных опасностей. Под "эффективными" подразумеваются такие меры по защите, которые при минимуме материальных затрат обеспечивают максимальный эффект;

2. Произвести полный детальный анализ опасностей формируемых в изучаемой деятельности;

3. Разработать эффективные меры защиты от остаточного риска данной деятельности. Они необходимы, так как обеспечить абсолютную безопасность деятельности не возможно.

5.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Рабочее место - СФУ, Институт горного дела, геологии и геотехнологии, учебный корпус, кафедра ЭГМП, аудитория №307.

Оборудование - стенд для проведения лабораторных работ («Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работу МПУ»).

Таблица 5.1 – Вредные и опасные факторы

| п/п | Рабочее место или операция технологического процесса | Оборудование | Опасный (вредный) фактор, единица измерения | Величина фактора | Норматив (безопасная величина) со ссылкой на ГОСТ, СНиП и т.п. |
|-----|--|--------------------|---|------------------|--|
| | Аудитория №307 | Лабораторный стенд | Напряжение | 220В | 50В РД153-34.0—3.150-00 п.10.4 |

5.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда

Перед выполнением задания по выполнению лабораторной работы, студент должен пройти инструктаж по безопасному выполнению работы и получить дополнительные указания от преподавателя.

Стенд представляет собой стол размером 1200х750мм. Всё оборудования размещено внутри стенда и на задней стенке. Доступ к

токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенда из изоляционного материала. Все токоведущие части стенда выполнены в двойной изоляции. Дополнительно присутствуют предупреждающие знаки и надпись на крышке задней панели «Не открывать, не отключив от сети» и знак электрической опасности. Дополнительно на стенде обозначена величина напряжения.

Помещение, в котором установлен стенд, имеет температуру окружающего воздуха $+25^{\circ}\text{C}$, при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения – естественная. С помощью окон обеспечивается кратность воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494.

5.2.1 Электробезопасность.

Стенд подключен к сети переменного тока напряжением 24В. На входе питания в стенд установлен автоматический выключатель, который выполняет функции выключателя и защиты, при коротких замыканиях и перегрузках. Питание стенда выполнено путем подключения гибкого кабеля с двойной изоляцией.

Эксплуатационному персоналу запрещается производить разборку стенда, снятие задней и передней стенки без отключения вводного автоматического выключателя на стенде и отключения питающего кабеля путем отключения разъемного соединения на распределительном щитке в аудитории №309 а.

5.2.2 Правила безопасности перед выполнением работы.

Проверить отсутствие напряжения на лабораторном стенде (автоматический выключатель должен быть выключен, индикаторная лампа не должна гореть).

Работая в лаборатории, студенты не должны отвлекаться и отвлекать других. Запрещается самовольное расширение рабочего места.

Студент должен предварительно проверить соответствие выполняемой работы порученному заданию. В случае неясности пригласить для проверки преподавателя или лаборанта.

5.2.3 Правила безопасности при выполнении работы.

Включение стенда производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания эксплуатирующий персонал должен проверить срабатывание автоматического выключателя. При повреждении оборудования, студент должен немедленно отключить автоматический выключатель на щитке рабочего места. Обо всех неисправностях, эксплуатирующий персонал, не делая попыток к исправлению, должен

немедленно сообщить преподавателю.

При отсутствии напряжения в цепи автоматический выключатель должен быть в отключенном состоянии.

В случае прекращения опыта или перерыва в работе стенд надо обязательно отключить от сети.

Во время выполнения работы на стенде запрещается:

- Выполнять действия, противоречащие полученным заданиям и методичек;
- Оставлять без наблюдения стенд, находящийся под напряжением;
- Включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и тумблеры.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.

5.2.4 Правила безопасности по окончании работы.

По окончании лабораторной работы, студент должен поставить в известность преподавателя или лаборанта. После проверки и разрешения преподавателя следует:

- выключить автомат питания;
- навести порядок на рабочем месте;
- сообщить преподавателю или лаборанту об окончании работы на стенде.

5.2.5 Действия в случае аварийной ситуации

- немедленно отключить главный рубильник или автоматический выключатель;
- сообщить руководителю занятий

5.3 Мероприятия по производственной санитарии

Помещение, в котором установлен стенд, имеет стены – побеленные в белый цвет. Пол – деревянный, способ уборки – влажной тряпкой.

Система отопления – централизованное, вид теплоносителя – горячая вода до 85⁰С. В качестве нагревательного прибора используются чугунные батареи в количестве 4 штук по 7 рёбер.

На каждом этаже имеется мужской и женский санузел. Все санузлы оборудованы умывальниками. На первом этаже размещён гардероб.

Аудитория имеет площадь 68,4 м². Количество оконных проёмов – 4, размеры – 1,5х2,5 м. Оконные рамы выполнены из материала ПВХ с тройным стеклопакетом.

Искусственное освещение аудитории выполнено светильниками с люминесцентными лампами типа ЛД-18. Количество светильников – 18 шт.,

количество ламп в светильнике – 4шт. Нормируемое освещение согласно СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" составляет 100 лк.

Данное помещение имеет естественный воздухообмен.

Стенд расположен задней стенкой вплотную к стене здания.

5.4 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности

Возможные источники взрывоопасности – отсутствуют.

Источники пожароопасности: короткое замыкание электрической цепи, небрежное отношение с открытым огнём (проведение ремонтных работ технических коммуникаций). В производстве не используются горючие газообразные, жидкие или твердые вещества.

Аудитория оборудована двумя огнетушителями, в коридоре имеется один огнетушитель и ящик с песком. Огнетушители типа ОП-5. На случай пожара здание учебного корпуса оборудовано противопожарной сигнализацией, звуковым оповещением и включением табличек эвакуационных выходов.

В случае возникновения пожара студент обязан:

- а) немедленно отключить главный рубильник или автоматический выключатель;
- б) принять меры по удалению всех людей из опасной зоны;
- в) вызвать пожарную охрану по телефону 01 или 112;
- г) принять меры к ликвидации пожара первичными и подручными средствами; при невозможности самостоятельной ликвидации очага пожара - покинуть помещение, плотно закрыв за собой двери.

Доврачебная помощь при поражении человека электрическим током:

1. Освободить пострадавшего от действия электрического тока;
2. Вызвать врача по телефону 03 или 112;
3. При необходимости давать нюхать нашатырный спирт, сделать искусственное дыхание и наружный массаж сердца;
4. Обеспечить пострадавшему покой.

6 Разработка сетевого графика

При написании дипломной работы требуется построение сетевой модели, позволяющей оценить вероятность её завершения в запланированные сроки. Учитывая большой объем работы при создании лаборатории и разработке вышеуказанного стенда «Оценка воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 110, 220кВ, к выполнению дипломной работы приступили заблаговременно, с учетом того, что общий период не должен превышать 45 дней. Проведем расчет вероятностного сетевого графика.

Составление сетевой модели

Для расчета сетевой модели составим таблицу 6.1 с перечнем необходимых работ.

Таблица 6.1 – Перечень необходимых работ

| Наименование работы | Код работы | Продолжительность работ |
|---|------------|-------------------------|
| Получение задания на работу | 1-2 | 1 |
| Работа с литературой | 2-3 | 7 |
| Обзор темы | 2-4 | 5 |
| Расчет и оформление дипломной работы | 2-8 | 14 |
| Теоретическое изучение влияния электромагнитных помех на функционирование МПУ | 3-7 | 12 |
| Разработка лаборатории по курсу электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях | 4-5 | 10 |
| Разработка схемы стенда | 5-6 | 13 |
| Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда | 6-8 | 8 |
| Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы | 7-8 | 9 |
| Рецензирование дипломной работы | 8-9 | 5 |
| Защита дипломной работы | 9-10 | 1 |

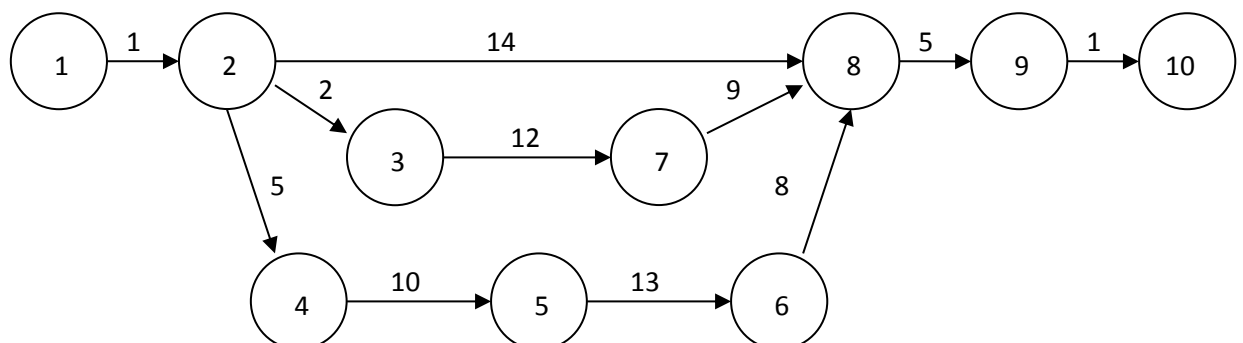


Рисунок 6.1 – Сетевой график выполнения дипломной работы

Рассчитываем параметры сетевого графика и сводим в таблицу 6.2

Таблица 6.2 – Расчет сетевого графика

| Номер начального события предшествую щей работы | Код рабо- ты | Раннее начало работы | Раннее окончание работы | Позднее начало работы | Позднее оконча- ние работы | Полный резерв времени | Свобод- ный резерв времени |
|---|--------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 1-2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 2-3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 13 | 0 |
| 1 | 2-4 | 1 | 6 | 1 | 6 | 0 | 0 |
| 1 | 2-8 | 1 | 15 | 1 | 15 | 22 | 28 |
| 2 | 3-7 | 3 | 15 | 3 | 15 | 13 | 0 |
| 2 | 4-5 | 6 | 16 | 6 | 16 | 0 | 0 |
| 4 | 5-6 | 16 | 29 | 16 | 29 | 0 | 0 |
| 5 | 6-8 | 29 | 37 | 29 | 37 | 0 | 0 |
| 3 | 7-8 | 15 | 24 | 15 | 24 | 13 | 19 |
| 2;6;7 | 8-9 | 37 | 42 | 37 | 42 | 0 | 0 |
| 8 | 9-10 | 42 | 43 | 42 | 43 | 0 | 0 |

На сетевом графике 3 пути. Путь 3 является критическим. Его продолжительность – 43 дня и он не имеет резерва пути, но по отношению к сроку выполнения работы резерв составляет 2 дня.

$$\begin{aligned}
 L_1: 1-2-8-9-10 & \quad t_{L1} = 20 \\
 L_2: 1-2-3-7-8-9-10 & \quad t_{L2} = 30 \\
 L_3: 1-2-4-5-6-8-9-10 & \quad t_{кр} = t_{L3} = 43
 \end{aligned}$$

Работа 2-3:

Раннее начало работы:

$$t_{рн(23)} = \max t_{(ni)} = 1 \quad (6.1)$$

Раннее окончание работы:

$$t_{ро(23)} = t_{рн(23)} + t_{(23)} = 1 + 2 = 3 \quad (6.2)$$

Позднее окончание работы:

$$t_{по(23)} = \min t_{ni} = 3 \quad (6.3)$$

Позднее начало работы:

$$t_{пн(23)} = t_{по(23)} - t_{(23)} = 3 - 2 = 1 \quad (6.4)$$

Полный резерв времени:

$$R_{\Pi(23)} = t_{\text{кр}(23)} - t_{\text{p}(2)} - t_{(23)} = 43 - 28 - 2 = 13 \quad (6.5)$$

Свободный резерв времени:

$$R_{\text{с}(23)} = t_{\Pi(3)} - t_{\text{p}(2)} - t_{(23)} = 3 - 1 - 2 = 0 \quad (6.6)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы изложены в следующих выводах:

1. Разработанная лаборатория, включающая в себя шесть стендов позволяет выполнить двенадцать лабораторных работ по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»
2. Каждый стенд позволяет выполнять лабораторную работу в количестве вариантов от трёх до десяти. Варианты выполнения работ выдает преподаватель.
3. Компьютерное моделирование позволило разработать принципиальную схему стенда, на которой наглядно демонстрируются синфазная и противофазная помехи, а также методы их определения и расчета.
4. Апробация виртуальной схемы стенда позволила определять импульсное сопротивление оборудования и использовать широкополосные фильтры для ограничения синфазных и противофазных помех.
5. Электрическая схема стенда полностью соответствует виртуальной схеме, полученной при моделировании, в результате среднее значение напряжений синфазной помехи меньше среднего значения напряжения противофазной помехи в 4,8 раз, что соответствует заложенным требованиям, а выбранное оборудование и измерительные приборы позволяют получить качественные осциллограммы синфазных и противофазных помех, что указывает на работоспособность и надежность стенда.
6. Апробация работы стенда позволяет разработать алгоритмы выполнения лабораторной работы, связанной как с измерениями, так и с расчетами синфазных и противофазных помех на подстанциях напряжением 110 кВ или 220 кВ.
7. Разработка методического обеспечения позволяет выполнять шесть вариантов лабораторных работ, из них три варианта относятся к подстанции 110 кВ и три варианта относятся к подстанции 220 кВ.
8. В методическом обеспечении имеется сводная таблица контрольных данных по выполнению каждого варианта работы, что позволяет преподавателю оперативно оценивать качество лабораторных работ.
9. Разработанный стенд и методическое обеспечение полностью соответствует цели дипломной работы.
10. В лаборатории предусмотрено все условия для безопасного выполнения лабораторных работ с позиции безопасности жизнедеятельности человека.
11. Разработанный сетевой график позволил рассчитать время и силы для полноценного и качественного выполнения дипломной работы.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГВЧИ – генератор высокочастотных импульсов

ЗУ – заземляющее устройство

КЗ – короткое замыкание

МПУ – микропроцессорные устройства

ОПУ – общеподстанционный пункт управления

ОРУ – открытое распределительное устройство

ПС – подстанция

РЗА – релейная защита и автоматика

РУ - распределительное устройство

ТН – трансформатор напряжения

ТТ – трансформатор тока

ХХ – холостой ход

ШУП – шина уравнивания потенциалов

ЭМО – электромагнитная обстановка

ЭМС – электромагнитная совместимость

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

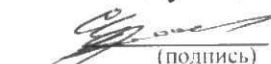
1. СО 34.35.311-2004 Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях.- Введ. 13.02.2004 – Москва: МЭИ, 2004 – 78с.
2. СТО 56947007- 29.240.044-2010 Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. – Введ. 21.04.2010 – Москва: МЭИ, 2010 –147с.
3. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / А.Ф. Дьяков, Б. К. Максимов, Р.К. Борисов, И.П. Кужекин, А.В. Жуков; Под ред. А.Ф. Дьякова. М.: Энергоатомиздат, 2003. – 214с.
4. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем. И.П. Кужекина / Под ред. Б.К. Максимова.
М.: Энергоатомиздат, 1995. – 147с.
5. Шваб А, Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В.Д. Мазина и СД. Спектра. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И.П. Кужекина.
М.: Энергоатомиздат, 1998. –231с.
6. Кармашев В.С, Электромагнитная совместимость технических средств: Справочник М.: Изд-во Норт, 2001. – 196с.
7. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.
8. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем. Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 228 с.
9. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и радиоконтроль. Методы оценки и эффективности. Монография / Под ред. П.А. Сая. – М.: Радиотехника, 2015. – 400 с.
10. Ромащенко М.А. Основы внутриаппаратурной электромагнитной совместимости: учеб. пособие. – Воронеж. «Воронежский государственный технический университет», 2015. – 144 с.

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ
(институт)

ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.В. Кузьмин
(подпись) (инициалы, фамилия)

«09» февреля 2018г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.10 Электрификация и автоматизация горного производства

(код и наименование специализации)

Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Оценка воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 110кВ».
(тема)

Пояснительная записка

Руководитель

 09.02.2018
(подпись, дата)

К.Т.Н., доцент
(должность, ученая степень)

Р.С. Кузьмин
(инициалы, фамилия)

Выпускник

 09.02.2018
(подпись, дата)

И.П. Найдешкин
(инициалы, фамилия)

Красноярск 2018г.